

Aus dem Institut für Landnutzung

der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

**Analyse der Beziehung
von vorbeugendem und chemischem Pflanzenschutz
in Weizen und Raps
anhand von Praxis-Daten**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Agrarwissenschaften (doctor agriculturae)

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

der Universität Rostock

vorgelegt von Diplom-Ingenieurin Jana Bürger

aus Rostock

Rostock, den 4. 6. 2010

Gutachter:

Prof. Dr. Bärbel Gerowitt, Universität Rostock, Institut für Landnutzung, Phytomedizin

Prof. Dr. Bernd Freier, Julius Kühn-Institut Kleinmachnow

Dr. Nathalie Colbach, Institut National de Recherche Agronomique Dijon

Tag der Verteidigung: 26. 7. 2010

urn:nbn:de:gbv:28-diss2010-0140-3

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	4
1.1.	Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft.....	5
1.2.	Aufbau der Arbeit	8
1.3.	Literatur	11
2.	The “necessary extent“ of pesticide use – thoughts about a key term in German pesticide policy	14
2.1.	Abstract	14
2.2.	Introduction.....	14
2.3.	A framework for decisions on pesticide use.....	15
2.4.	Effect of pesticide reductions not altering the cropping system.....	17
2.5.	Assessing treatment decisions in regard to the "necessary extent“	19
2.6.	Effect of pesticide reductions through substitution with agronomical control methods.....	19
2.7.	Conclusions for approaching the term "necessary extent" of pesticide use / Practical application	24
2.8.	References	26
3.	Anwendungsmuster von Pflanzenschutzmitteln in Winterweizen und Winterraps	30
3.1.	Zusammenfassung.....	30
3.2.	Summary	30
3.3.	Einleitung.....	30
3.4.	Datengrundlage.....	31
3.5.	Bekämpfungsintensität.....	32
3.6.	Tankmischungen	33
3.7.	Aufwandmengen	34
3.8.	Danksagung	37
3.9.	Literatur	37
4.	Anwendungsmuster von Pflanzenschutzmitteln in Winterraps in einigen Betrieben des Referenzbetriebsnetzes der LFA MV von 2002 bis 2007.....	38
4.1.	Einleitung.....	38
4.2.	Daten.....	38
4.3.	Witterung und Schaderregerauftreten.....	39
4.4.	Behandlungsintensität.....	40
4.5.	Behandlungsstrategien	42
4.6.	Einfluss von Anbaumaßnahmen	45
4.7.	Schlussbemerkung.....	46
4.8.	Literatur	46

5.	Influence of cropping system factors on pesticide use intensity – a multivariate analysis of on-farm data in North-East Germany	47
5.1.	Abstract	47
5.2.	Introduction.....	47
5.3.	Data.....	49
5.4.	Analysis	51
5.5.	Results	52
5.6.	Discussion	57
5.7.	Conclusion.....	60
5.8.	Acknowledgements	60
5.9.	References	61
6.	How specific is pesticide use? On the influence of cropping system, seasonal, regional and farm specific factors.....	64
6.1.	Abstract	64
6.2.	Introduction.....	64
6.3.	Data.....	65
6.4.	Analysis	67
6.5.	Results	69
6.6.	Discussion	74
6.7.	Conclusion.....	78
6.8.	Acknowledgements	78
6.9.	References	79
7.	Zusammenfassung und Diskussion	82
7.1.	Zusammenfassung der Ergebnisse	82
7.2.	Methodendiskussion	84
7.3.	Schlussfolgerungen für die Bewertung des notwendigen Maßes.....	88
7.4.	Literatur	92
	Danksagung	96
	Thesen	97
	Selbständigkeitserklärung	100

1. Einleitung

„Pflanzenschutz darf nur nach guter fachlicher Praxis durchgeführt werden. Zur guten fachlichen Praxis gehört, daß die Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes [...] berücksichtigt werden.“

„Integrierter Pflanzenschutz [ist] eine Kombination von Verfahren, bei denen unter vorrangiger Berücksichtigung biologischer, biotechnischer, pflanzenzüchterischer sowie anbau- und kulturtechnischer Maßnahmen die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf das notwendige Maß beschränkt wird.“

§2 Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen, zuletzt geändert 2008

„Es gibt Anzeichen, dass das notwendige Maß der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zumindest teilweise überschritten wird. [...] Es werden verstärkte Bemühungen gefordert, [...] die Anwendungsmengen strikt auf das notwendige Maß zu begrenzen und die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln transparenter zu machen. Daten über die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in Deutschland gibt es nur wenige.“

„Das notwendige Maß bei der Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln beschreibt die Intensität der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, die notwendig ist, um den Anbau der Kulturpflanzen, besonders vor dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit, zu sichern.“

Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz (2004)

„Die Mitgliedstaaten erheben die Daten [...über die jährlichen Mengen an verwendeten Pestiziden] in Fünfjahreszeiträumen mit folgenden Mitteln: Erhebungen, [...], administrative Quellen oder Kombination aus diesen Mitteln einschließlich statistischer Schätzverfahren auf der Grundlage von Sachverständigengutachten oder Modellen.“

Artikel 3, Verordnung (EC) No 1185/2009 über Statistiken zu Pestiziden

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Methoden zur weiter gehenden Auswertung von Praxis-Daten, wie sie im Rahmen eines Pflanzenschutzmittel-Anwendungs-Monitorings erhoben werden. Ein Ziel der Untersuchungen ist die prüfende Anwendung des Indikators „Behandlungsindex“ als Maßzahl für die Einsatzintensität von Pflanzenschutzmitteln an umfangreichem Datenmaterial aus Mecklenburg-Vorpommern und weiteren Regionen Ostdeutschlands, das mehrere Jahre, mehrere Betriebe einer Region und eine möglichst hohe Zahl von Schlägen der einzelnen Betriebe umfasst. Des Weiteren werden durch schlag-genaue Auswertungen Erkenntnisse im Hinblick auf eine fachlich/wissenschaftlich begründete Herleitung von notwendigen Behandlungsintensitäten gewonnen. Besonderes Interesse gilt dabei Möglichkeiten der Erfassung von Reduktionspotenzialen, die sich durch ein vorbeugendes Anbaumanagement ergeben.

1.1. Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft

Chemische Pflanzenschutzmittel sind seit der Mitte des 20. Jahrhunderts ein wichtiges Produktionsmittel der konventionellen Landwirtschaft. Sie sind Teil der Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion, die sich durch Mechanisierung, Spezialisierung, wachsende Betriebsgrößen, sowie geringeren Arbeitskräftebedarf bei hohem Stoff- und Energieeinsatz auszeichnet. Die Intensivierung führte zu erheblichen Produktivitätssteigerungen und damit zu wesentlich höheren Ernteerträgen (Zadoks, 2002).

Der Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln ist aber auch mit negativen Folgen für Menschen, Tiere und Pflanzen verbunden. Durch die Ausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen werden Nichtzielorganismen geschädigt, Drift und Auswaschung verursachen außerdem Einträge in angrenzende Biotope, Gewässer, das Grundwasser und z. T. in weit entfernt liegende Ökosysteme (Akkan et al., 2003; Brown & Paxton, 2009; Geiger et al., 2010; LALLF, 2005-2010; Sonne, 2010). Die Ausbringung birgt einerseits Gefahren für die Anwender (Devine & Furlong, 2007; Elbaz et al., 2009; Statistisches Bundesamt, 2010), andererseits können Rückstände auf Lebensmitteln oder im Trinkwasser zu Gesundheitsschäden bei den Konsumenten führen (Pfeil, 2010).

Die schädlichen Auswirkungen des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes zeichneten sich bald nach Beginn der flächendeckenden Anwendung ab (Carson, 1962), darauf hin wurden Anstrengungen zur Verbannung besonders giftiger und persistenter Wirkstoffe, zur Weiterbildung der Anwender, zur Begrenzung und Kontrolle von Rückständen, sowie zur Entwicklung von Pflanzenschutzstrategien mit geringerem Einsatz von Pflanzenschutzmittel (Stern et al., 1959; Zadoks & Waibel, 2000; Jørgensen, 2009) unternommen.

In Deutschland wird die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel durch das Pflanzenschutzgesetz (Anonym, 2008) sowie nachgeordnete Rechtsverordnungen geregelt. Eine zentrale Forderung des deutschen Pflanzenschutz-Rechts ist es, die Prinzipien des Integrierten Pflanzenschutzes zu beachten und die Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln unter vorrangiger Ausnutzung biologischer, pflanzenzüchterischer sowie anbau- und kulturtechnischer Maßnahmen auf das notwendige Maß zu beschränken. Im Jahr 2004 wurde das Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz (BMVEL, 2005) aufgelegt, das inzwischen seine Fortschreibung im Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (BMELV, 2008) gefunden hat. Ziel beider Programme ist die Verminderung der Risiken für Anwender, Verbraucher und Umwelt, die durch verschiedene Maßnahmen erreicht werden soll.

Ergänzt und flankiert wird die deutsche Entwicklung seit 2009 durch die Richtlinie der Europäischen Union zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (EU, 2009a) und die Verordnung zur Pestizid- Statistik (EU, 2009b). Neben der Erarbeitung nationaler Aktionspläne werden darin alle Mitgliedsstaaten zur regelmäßigen Erhebung von Daten über den Verkauf und über die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln verpflichtet.

In Deutschland wird schon seit Ende der 1990-er Jahre mit dem NEPTUN-Projekt der Ansatz eines flächendeckenden Anwendungsmonitorings verfolgt, um neben Daten zum Verkaufsumfang von Pflanzenschutzmittel von den Herstellern und Händlern auch Erkenntnisse über den tatsächlichen Einsatz in der Landwirtschaft zu erlangen. Im Jahr 2000 wurden erstmals für 10 wichtige Feldfrüchte im Ackerbau Daten zu den Pflanzenschutzmittel-Anwendungen erhoben (Roßberg, 2002), in den folgenden Jahren auch in den Bereichen Gemüsebau, Obstbau und Weinbau (Roßberg, 2007). Später wurde zur Erhebung von Daten im Ackerbau das Vergleichsbetriebsnetz Pflanzenschutz geschaffen

(Freier et al., 2006; Freier et al., 2008).

Die einzelbetrieblich erhobenen Daten dienen einerseits der Erfassung von Trends bezüglich verwendeter Mittelmengen und Wirkstoffe. Sie sollen zur Abschätzung der mit der Anwendung verbundenen Risiken genutzt werden. Letztendlich sieht der Nationale Aktionsplan eine aggregierte Darstellung aller auf die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln bezogenen Erkenntnisse, auch über Pflanzenschutzmittel-Funde in Gewässern sowie Rückstände in Lebens- und Futtermitteln in Form eines dreijährlichen Berichts und eines Deutschen Pflanzenschutz-Index vor (BMELV, 2008).

Andererseits werden die einzelbetrieblichen Daten statistisch regionsweise gemittelt und sollen Landwirten und Beratern als Vergleichswerte für die notwendigen Pflanzenschutz-Aufwendungen dienen. Für dieses Anwendungsgebiet erfolgt die Auswertung der Daten mit dem Normierten Behandlungsindex (Roßberg, 2002). Er gibt wieder, wie viele Behandlungen mit Fungiziden, Herbiziden, Insektiziden und Wachstumsreglern auf einer Fläche in einer Saison durchgeführt wurden, wobei Behandlungen auf Teilflächen oder mit reduzierten Aufwandmengen nur proportional angerechnet werden. Durch die Normierung, d.h. den Vergleich der eingesetzten Menge mit der maximal zugelassenen Aufwandmenge des Mittels, werden Behandlungen vergleichbar, bei denen sich die eingesetzten Mengen z. T. um zwei Zehnerpotenzen unterscheiden. Die beiden Herbizide Husar® und Roundup Ultra® werden z. B. für die gleiche Indikation mit 40 g/ha bzw. 2 kg/ha eingesetzt (BVL, 2001-2010). Außerdem fließt über die in der Zulassungsprüfung festgelegte maximale Aufwandmenge eine Bewertung der Umweltwirkung der Mittel indirekt in die Bewertung der Intensität ein.

Burth et al. (2002) haben ein statistisch-empirisches Verfahren vorgeschlagen, aus jahres- und gebietsspezifisch errechneten Mittelwerten und Standardabweichungen einen Werte-Korridor abzuleiten, der als Annäherung für das notwendige Maß des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes in der jeweiligen Region gelten kann. Als Grundlage für die Unterscheidung zwischen Regionen mit verschiedenen Anbaubedingungen und phytosanitärer Gesamtsituation wurden bis 2006 die Boden-Klima-Regionen nach Kaule & Schulzke (1998) genutzt. Nach seiner Einführung wurde das Verfahren in einigen wissenschaftlichen Untersuchungen angewendet und Möglichkeiten und Grenzen seiner Verwendung aufgezeigt (Sattler et al., 2007; Verch & Kächele, 2005). Das Verfahren ist seitdem diskutiert und für die Anwendung mit den Daten des Vergleichsbetriebsnetzes Pflanzenschutz angepasst worden (Freier et al., 2006). Seit der Saison 2006/ 2007 finden außerdem neu abgestimmte Boden-Klima-Räume (Roßberg et al., 2007) als Bezugsregionen Anwendung.

Politischen Bemühungen und Diskussionen, auf diesem Wege einen obligatorisch gültigen Grenzwert für den Behandlungsindex festzulegen oder aber ähnlich wie in Dänemark in den 1990er Jahren Ziele für eine Reduktion um einen bestimmten Betrag des BI anzusetzen (Jørgensen, 2009), wurde bereits bei der Erarbeitung des Verfahrens und im Reduktionsprogramm deutlich widersprochen. Der Indikator und die Vergleichswerte werden aber in der vorgeschlagenen Form im Bereich der Nachhaltigkeitsbewertung und –zertifizierung von landwirtschaftlichen Betrieben, wie z. B. im Betriebsmodell REPRO (Heyer et al., 2005) und beim Nachhaltigkeitszertifikat der Deutschen Landwirtschaftlichen Gesellschaft eingesetzt (Christen et al., 2009).

Parallel zu den besprochenen empirisch-statistischen Erhebungen bestand die Notwendigkeit, ergänzend eine eher fachlich begründete Herleitung des notwendigen Maßes zu entwickeln, und dabei auch eine Bewertung der Bekämpfungsnotwendigkeit zu integrieren.

Die Höhe des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes hängt von einer großen Anzahl von Faktoren ab. Einerseits wird das Auftreten von Schadorganismen (Pilzen, Unkräutern und Ungräsern sowie Insekten) auf einem Schlag durch die Standorteigenschaften wie Klima, Bodenart oder regionale Anbaudichte der betroffenen Kultur bestimmt. Darüber hinaus beeinflussen die Witterungsbedingungen während der Wachstumsperiode, ob eine epidemische Vermehrung stattfindet. Andererseits können die Landwirte durch das Anbaumanagement entscheidenden Einfluss auf das Auftreten von Schaderregern bzw. den resultierenden Schaden nehmen. Ein Beispiel möglicher vorbeugender Maßnahmen ist die Wahl von Sorten mit guten Resistenzeigenschaften gegenüber verbreiteter Pilz-Krankheiten. Nicht zuletzt wird die Behandlungsintensität aber auch durch eine Reihe sozio-ökonomischer Faktoren mitbestimmt. Dazu gehören u. a. die Gesamt-Intensität des Anbaus auf dem Schlag und die damit verbundene Ertragserwartung, ökonomische Rahmenbedingungen wie Rohstoff- und Erzeugerpreise, Beratung, Finanzen und Ausstattung des Betriebs, oder auch Risikowahrnehmung und –bereitschaft des Landwirts.

In die Auswertungen der Daten im Vergleichsbetriebsnetz fließt seit 2008 eine schematisierte Einschätzung der Notwendigkeit der Behandlungen ein. Diese wird durch Mitarbeiter der beteiligten Landes-Pflanzenschutzdienste vorgenommen (Freier et al., 2009). Bei der Erfassung der Pflanzenschutzmittel-Anwendungen werden zudem einige Angaben zum Anbaumanagement auf den untersuchten Schlägen erfragt. Anschließend werden Analysen zum Einfluss einzelner Anbaumaßnahmen wie Bodenbearbeitung, Sortenwahl oder Fruchtfolgegestaltung auf die Behandlungsintensität durchgeführt (Günther, 2010). Diesen Analysen liegt die Forderung des Pflanzenschutzgesetzes nach Beachtung des Integrierten Pflanzenschutzes zu Grunde.

Der Integrierte Pflanzenschutz (IPS) verlangt, Methoden des biologischen, agronomischen und chemischen Pflanzenschutzes miteinander zu verbinden, wobei vorbeugenden Maßnahmen zur Gesunderhaltung der Kultur Vorrang vor dem chemischen Pflanzenschutz zu geben ist. Chemische Pflanzenschutzmittel dienen heute nicht nur der Bekämpfung unabwendbarer Krankheiten und Insektenplagen und somit der Verhinderung von Ertragsverlusten, sondern haben in den vergangenen Jahrzehnten manche Methoden der Intensivierung überhaupt erst möglich gemacht, die aus phytosanitärer Sicht eher problematisch zu bewerten sind, wie die folgenden drei Beispiele verdeutlichen.

- Abwechslungsreiche Fruchtfolgen gelten als das Mittel der Wahl, um bestimmte Krankheiten der Kulturpflanzen zu vermeiden und Unkräuter zu bekämpfen (Colbach et al., 1999; Kirkegaard et al., 2008; Pallutt, 1999). Die in Folge der Spezialisierung und der ökonomischen Rahmenbedingungen im Untersuchungsgebiet vorherrschenden engen, raps- und getreidelastigen Fruchtfolgen werden durch den intensiven Einsatz von Fungiziden und Herbiziden gestützt.
- Eine nicht wendende Bodenbearbeitung, die Kraftstoff und Arbeitszeit spart, wäre nicht möglich ohne den erhöhten Einsatz von Herbiziden (Bartels, 2002; Erichsen, 2002; Günther & Pallutt, 2008).
- Seit einigen Jahren ist ein Trend zur Vorverlegung der Saattermine, insbesondere bei Winterraps und Winterweizen zu verzeichnen. Obwohl durch die längere Vorwinterentwicklung ein höherer Befall durch Pilzkrankheiten, Unkräuter und Insekten zu verzeichnen ist (Glen, 2000; Hesler et al., 2005), der oft zu höherem Einsatz von Pflanzenschutzmittel führt, ist die Produktion wirtschaftlich (Ziesemer & Lehmann, 2008) und trägt zur Entzerrung von Arbeitsspitzen, insbesondere in größeren Betrieben, bei.

Die Auswertungen der Daten des Vergleichsbetriebsnetzes Pflanzenschutz zum Zusammenhang von Anbauverfahren und Pflanzenschutz-Intensität sollen Aufschluss über Einflussmöglichkeiten der Landwirte durch vorbeugende Maßnahmen geben. So könnten auch Reduktionspotenziale von IPS-Elementen quantifiziert werden.

Der Integrierte Pflanzenschutz umfasst neben dem vorbeugenden Pflanzenschutz auch Maßnahmen wie die Ableitung und Anwendung von Schadensschwellen, unterhalb derer Behandlungen unterlassen werden, die Durchführung von Schaderregermonitorings und die Nutzung von Entscheidungsunterstützungssystemen (Burth et al., 2001). Im Kontext aktueller Nachhaltigkeitsdebatten dienen alle genannten politischen und wissenschaftlichen Bemühungen dazu, die Abhängigkeit der Landwirtschaft von Pflanzenschutzmitteln zu verringern, Schäden für Umwelt, Natur und menschliche Gesundheit zu vermeiden, sowie den ökonomischen Erfolg der Betriebe und die Versorgung der Bevölkerung mit landwirtschaftlichen Produkten zu sichern.

1.2. Aufbau der Arbeit

Die Analysen der vorgelegten Dissertationsschrift gliedern sich in drei Abschnitte. Der erste Teil beinhaltet eine Auseinandersetzung mit der Bedeutung von Elementen des IPS für das notwendige Maß an Pflanzenschutzmitteln (Kapitel 2). Im zweiten und dritten Teil werden methodische Ansätze zur Untersuchung des Verhältnisses zwischen Anbaufaktoren und Pflanzenschutz-Intensität vorgestellt und beispielhaft auf Daten aus dem Winterweizen- und Winterraps-Anbau landwirtschaftlicher Betriebe Nordost- und Ostdeutschlands angewendet. Dabei liegt der Fokus zuerst auf der Anwendung des Indikators Behandlungsindex (BI) als deskriptive Größe auf einer betrieblichen Ebene und auf der Analyse von Anwendungsmustern (Kapitel 3 und 4). Anschließend wird das Verhältnis von Anbaumaßnahmen und Pflanzenschutz-Intensität mittels multivariater Methoden auf Schlagenebene untersucht (Kapitel 5 und 6). Diese statistischen Verfahren werden der Herkunft, Erhebung und Struktur der Daten besser gerecht als klassische Mittelwert-Vergleiche und einfache Regressionsrechnungen. Außerdem wird so die Multidimensionalität der Behandlungsentscheidungen in die Auswertungen einbezogen. In einer Synopse (Kapitel 7) werden die vorgestellten Ansätze diskutiert und gezeigt, wie diese zu einer fachlich begründeten Herleitung von Orientierungswerten für den BI im Sinne des notwendigen Maßes beitragen können.

Integrierter Pflanzenschutz und das notwendige Maß

Das „notwendige Maß“ ist als die Menge an Pflanzenschutzmittel definiert, die notwendig ist, um die Wirtschaftlichkeit des Kulturpflanzenanbaus zu sichern, wobei alle praktikablen nicht-chemischen Maßnahmen ausgeschöpft werden sollen, um Umwelt- und Verbraucherschutz zu berücksichtigen (BMVEL, 2005). Die Frage, wie viel Pflanzenschutzmittel-Einsatz auf einem bestimmten Schlag notwendig ist, kann verschieden beantwortet werden: 1) durch Einsatz eines Pflanzenschutzmittels, sobald ein Schaderregerbefall identifiziert wurde oder eine vorbeugende Behandlung für notwendig erachtet wird, z. B. wenn sich die Pflanze in einem schutzbedürftigen Wachstumsstadium befindet, 2) durch Optimierung der Behandlung in ökonomischer Hinsicht durch reduzierte Aufwandmengen, Berechnung und Nutzung von wirtschaftlichen Schadensschwellen oder 3) durch eine Reduktion der Behandlungsnotwendigkeit, indem das Befallsrisiko mittels vorbeugender Maßnahmen und damit die Befallsintensität verringert werden.

Das Kapitel 2

- stellt den (ökonomischen) Rahmen der Entscheidung dar, in welchem Verhältnis vorbeugender und chemischer Pflanzenschutz von einem Landwirt angewendet werden,
- untersucht, welche Erkenntnisse Anbausystem-Versuche zum Zusammenhang IPS – Pflanzenschutz-Intensität – Wirtschaftlichkeit erbracht haben,
- diskutiert, dass weitere Auswertungen zu diesem Zusammenhang auch für einzelne Anbaumaßnahmen als Entscheidungshilfe und Anreiz für den Einsatz durch die Landwirte notwendig sind.

Anwendungsmuster von Pflanzenschutzmitteln

Während (regionale) Mittelwerte Auskunft über allgemeine Entwicklungen, Trends und Unterschiede geben, ermöglicht die schlag- und maßnahmengenaue Betrachtung von Pflanzenschutzmittel-Anwendungen Erkenntnisse über die verschiedenen Herangehensweisen der Landwirte. Partizipative Projekte geben ein Beispiel, wie aus einem größeren Daten-Pool über Pflanzenschutzmittel-Anwendungen in der Praxis innovative Behandlungsstrategien aufgezeigt oder besonders intensive Nutzer identifiziert werden können, um durch Weiterbildung und Informationsweitergabe unter Landwirten insgesamt eine geringere Pflanzenschutz-Anwendung zu erreichen (Penrose et al., 1996; Oakley et al., 2007).

In den Kapiteln 3 und 4 werden mehrjährige Schlagkarteidaten von Praxisbetrieben in Mecklenburg-Vorpommern hinsichtlich typischer Anwendungsmuster analysiert. Die Daten wurden durch eine Befragung von Landwirten (durchgeführt vom Landespflanzenschutz-Dienst Mecklenburg-Vorpommern, LPS M-V) sowie durch die Sekundäranalyse von originär für ökonomische Fragestellungen erhobenen Daten (aus dem Referenzbetriebsnetz der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, LFA M-V) gewonnen. Winterweizen und Winterraps sind in Mecklenburg-Vorpommern die beiden wichtigsten Feldfrüchte, sie wurden zwischen 2002 und 2007 auf durchschnittlich 30% bzw. 22% der gesamten Ackerfläche angebaut (MLU, 2009). Am Beispiel von Pflanzenschutzmittel-Anwendungen in diesen beiden Kulturen wurden folgende Aufgabenstellungen bearbeitet:

- Vergleich verschiedener Größen für die Behandlungsintensität: Behandlungshäufigkeit, Normierter Behandlungsindex und Anzahl eingesetzter Pflanzenschutzmittel,
- Darstellung der Variabilität der Pflanzenschutzintensität in verschiedenen Jahren,
- Analyse des Zusammenhangs zwischen reduzierten Aufwandsmengen und BI (Führen Behandlungen mit reduzierten AWM zu häufigeren Behandlungen?),
- detaillierte Auswertung von Behandlungsfolgen und Tankmischungen.

Multivariate Ansätze zur Untersuchung des Einflusses von Anbaumaßnahmen auf die Pflanzenschutz-Intensität

Wie bereits beschrieben, unterliegen das Auftreten und die epidemische Entwicklung von Schaderregern einem komplexen Geflecht von Einflussfaktoren, den äußeren Anbaubedingungen mit regionalen und jährlichen Schwankungen ebenso wie dem Anbaumanagement. Außerdem ist der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln als Reaktion auf beobachtete oder erwartete Befallssituationen betriebsspezifisch von einigen weiteren Komponenten abhängig.

Vorangegangene Studien zeigten, dass ein- oder zweifaktorielle Analysen den Zusammenhang zwischen Anbaumanagement und Pflanzenschutzmittel-Einsatz in Praxisdaten nur ungenügend aufklären können (Günther & Pallutt, 2008; Freier et al., 2009; Günther, 2010). Durch die vielfältigen Faktoren, die im Gegensatz zum klassischen Anbauversuch nicht konstant zwischen Versuchsgliedern gehalten werden können, überlagern sich verschiedene Einflüsse, was die

Herausarbeitung einzelner Parameter in den statistischen Modellen behindert.

In den Kapiteln 5 und 6 werden zwei multivariate Untersuchungs-Ansätze vorgestellt, um der Herkunft und Struktur der Daten besser gerecht zu werden. Sie ermöglichen es einerseits, vorliegende Anwendungsdaten ohne Aggregation und Mittelwertbildung in größerer Detailschärfe zu nutzen. Andererseits werden die Parameter mehrerer sich überlagernder Einflüsse gleichzeitig geschätzt und die durch „Störgrößen“ bzw. durch nicht interessierende äußere Einflüsse verursachte Variabilität bei der Schätzung berücksichtigt.

Im Kapitel 5 dienen Cluster- und Ordinationsmethoden zuerst wiederum dazu, typische Behandlungsmuster (Intensität und Anwendungsschwerpunkte) zu identifizieren, um diese anschließend mit Anbaumaßnahmen, Umweltbedingungen und Betriebseigenschaften in Beziehung zu setzen. Der Ansatz wird exemplarisch für Winterweizenschläge von sieben Betrieben in Mecklenburg- Vorpommern (aus dem LFA-Referenzbetriebsnetz) angewendet und die nachfolgenden Fragen beantwortet:

- Wie können Pflanzenschutzmittel-Anwendungsdaten zur Analyse genutzt werden, ohne sie zu mitteln? Wie kann die in detaillierten Behandlungsdaten enthaltene Information aufgeschlossen werden?
- Von welchen Faktoren werden Behandlungsmuster am wesentlichsten bestimmt, von Anbaubedingungen, Anbaumanagement oder betriebsinternen Faktoren?
- Welche Anbaumaßnahmen stehen mit geringeren oder höheren Behandlungsintensitäten in Zusammenhang?

Das Kapitel 6 beschreibt, wie der Zusammenhang zwischen Anbaumanagement und chemischer Pflanzenschutz-Intensität mittels eines Linearen gemischten Modells untersucht werden kann. Im Gegensatz zu den ein- oder zwei-faktoriellen Auswertungen fließen hier zunächst alle Anbaumaßnahmen in die Modellbildung ein, dann werden die wichtigen Variablen identifiziert und in ihrem kombinierten Einfluss quantifiziert. Angewendet wurde die Methode auf die Daten von acht Betrieben aus verschiedenen Regionen Ostdeutschlands, vier davon wiederum aus dem Referenzbetriebsnetz der LFA Mecklenburg-Vorpommern, ergänzt durch vier weitere Betriebe aus Voruntersuchungen zum Vergleichsbetriebsnetz Pflanzenschutz.

Durch Einbeziehung von Region, Jahr und Betrieb als „Zufallseffekte“ in der Modelldefinition wird der im Gegensatz zum klassischen Experiment nicht balancierten Datenerhebung Rechnung getragen, indem die diesen Einflüssen zuzuordnende Variabilität aus der Schätzung der Modellparameter ausgeschlossen wird. Die bearbeiteten Problemstellungen lauten:

- Prüfung des Einflusses von regionalen, saisonalen und betriebsspezifischen Faktoren auf die Pflanzenschutz-Intensität,
- Abschätzung des Einflusses von Anbaumaßnahmen auf die Intensität von Fungizid-, Herbizid- und Wachstumsreglereinsatz über ein breites Spektrum von Anbaubedingungen,
- Herausarbeitung der wichtigsten Anbaumaßnahmen, Aufzeigen von Reduktionspotenzialen.

Im Kapitel 7 werden die Erkenntnisse der einzelnen Kapitel abschließend zusammengefasst. Aus der Methodendiskussion werden Schlussfolgerungen für zukünftige Pflanzenschutzmittel-Monitorings und deren Auswertung, insbesondere im Hinblick auf eine fachliche Herleitung des notwendigen Maßes, gezogen. Der weitere Forschungsbedarf wird abgegrenzt und begründet. Darüber hinaus muss es weitere gesellschaftliche Diskussionen darüber geben, wieviel Pflanzenschutzmittel-Einsatz dem notwendigen Maß entspricht.

1.3. Literatur

- Akkan, Z.; Flaig, H. & Ballschmiter, K. (2003). Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel in der Umwelt: Emissionen, Immissionen und ihre human- und ökotoxikologische Bewertung. Schadstoffe und Umwelt 15. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Anonym (2008). Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1998 (BGBl. I S. 971, 1527, 3512), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 5. März 2008 (BGBl. I S. 284).
- Bartels, G. (2002). Pflanzenschutzprobleme bei nicht-wendender Bodenbearbeitung. Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 388, 25-33.
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2008). Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln.
- BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft) (2005). Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz., nachhaltige Landwirtschaft - vorsorgender Verbraucherschutz - Schutz des Naturhaushalts. Berlin.
- Brown, M. J. F. & Paxton, R. J. (2009). The conservation of bees: A global perspective. Apidologie 40 (3), 410-416.
- Burth, U.; Freier, B.; Hurle, K.; Reschke, M.; Schiller, R.; Stein, B. & Westphal, D. (2001). Handlungsempfehlungen für den integrierten Pflanzenschutz im Ackerbau. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 53 (12), 324-329.
- Burth, U.; Gutsche, V.; Freier, B. & Roßberg, D. (2002). Das notwendige Maß bei der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 54 (12), 297-303.
- BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2001-2010). Pflanzenschutzmittel-Verzeichnis Teil 1 - Ackerbau - Wiesen und Weiden - Hopfenbau - Nichtkulturland. Saphir-Verlag, Ribbesbüttel.
- Carson, R. (1962). Silent spring. Mifflin, Boston.
- Christen, O.; Hövelmann, L.; Hülsbergen, K. J.; Packeiser, M.; Rimpau, J. & Wagner, B. (2009). Nachhaltige landwirtschaftliche Produktion in der Wertschöpfungskette Lebensmittel. Initiativen zum Umweltschutz 78. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Colbach, N.; Meynard, J.; Duby, C. & Huet, P. (1999). A dynamic model of the influence of rotation and crop management on the disease development of eyespot. Proposal of cropping systems with low disease risk. Crop protection 18 (7), 451-462.
- Devine, G. J. & Furlong, M. J. (2007). Insecticide use: Contexts and ecological consequences. Agriculture and Human Values 24 (3), 281-306.
- Elbaz, A.; Clavel, J.; Rathouz, P. J.; Moisan, F.; Galanaud, J.; Delemotte, B.; Alperovitch, A. & Tzourio, C. (2009). Professional exposure to pesticides and Parkinson disease. Annals of Neurology 66 (4), 494-504.
- Erichsen, E. (2002). Auswirkungen von Pflugverzicht, Frühsaat und Selbstfolge auf den Weizenbau. Mehrjährige Erfahrungen aus der Sicht des Pflanzenschutzes. GetreideMagazin (3), 132-138.
- EU (Europäische Union) (2009a). Rahmenrichtlinie 2009/128/EG für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden. Brüssel.

EU (Europäische Union) (2009b). Verordnung (EG) Nr. 1185/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. November 2009 über Statistiken zu Pestiziden. Brüssel.

Freier, B.; Pallutt, B. & Günther, A. (2006). Untersuchungen zur Intensität der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in Ackerbaubetrieben - Grundlage für den Aufbau eines Netzes von Beispielbetrieben. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 58 (4), 98-103.

Freier, B.; Pallutt, B.; Jahn, M.; Sellmann, J.; Gutsche, V. & Zornbach, W. (2008). Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz. Jahresbericht 2007. Berichte aus dem Julius-Kühn-Institut 144.

Freier, B.; Pallutt, B.; Jahn, M.; Sellmann, J.; Gutsche, V.; Zornbach, W. & Moll, E. (2009). Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz. Jahresbericht 2008. Berichte aus dem Julius-Kühn-Institut 149.

Geiger, F.; Bengtsson, J.; Berendse, F.; Weisser, W.; Emmerson, M.; Morales, M.; Ceryngier, P.; Liirah, J.; Tscharnkte, T.; Winqvist, C.; Eggers, S.; Bommarco, R.; Pärt, T.; Bretagnolle, V.; Plantegenest, M.; Clement, L.; Dennis, C.; Palmer, C.; Onate, J.; Guerrero, I.; Hawro, V.; Aavik, T.; Thies, C.; Flohre, A.; Hänke, S.; Fischer, C.; Goedhart, P. & Inchausti, P. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. Basic and Applied Ecology. (im Druck).

Glen, D. M. (2000). The Effects of Cultural Measures on Cereal Pests and Their Role in Integrated Pest Management. Integrated Pest Management reviews 5 (1), 25-40.

Günther, A. & Pallutt, B. (2008). Erhebungen zur Intensität der Herbizid-Anwendungen in Winterweizen in sechs Ackerbaubetrieben und Betrachtungen zum notwendigen Maß. Journal of Plant Diseases and Protection Special Issue XXI, 547-554.

Günther, A. (2010). Analysen zur Intensität der Pflanzenschutzmittel-Anwendung und Aufklärung ihrer Einflussfaktoren in ausgewählten Ackerbaubetrieben. Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin.

Hesler, L.; Riedell, W. & Langham, M. O. S. (2005). Insect infestations, incidence of viral plant diseases, and yield of winter wheat in relation to planting date in the northern Great Plains. Journal of Economic Entomology 98 (6), 2020-2027.

Heyer, W.; Rossberg, D.; Abraham, J. & Christen, O. (2005). Erfassung und Beurteilung der Intensität des betrieblichen Pflanzenschutzes innerhalb des REPRO-Konzeptes. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 57 (6), 126-131.

Jørgensen, L. (2009). Denmarks Action Plans for Pesticides – status and role of research. http://www.agrsci.org/ny_navigation/institutter/institut_for_plantebeskyttelse_og_skadedyr/medarbejde_re/lmj/danish_pesticide_action_plans. Besucht am 3. 3. 2010.

Kaule, G. & Schulzke, D. (1998). Regionale Richtlinien zur Unterstützung einer nachhaltigen Landnutzung durch Agrarumweltprogramme der EU, Teilprojekt Brandenburg 2: Agrar-ökologische Gebietsgliederung - Forschungsbericht zum EU Projekt AIR 3 CT 94-1296.

Kirkegaard, J.; Christen, O.; Krupinsky, J. & Layzell, D. (2008). Break crop benefits in temperate wheat production. Field Crops Research 107 (3), 185-195.

LALLF (Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei), Pflanzenschutzdienst (2005-2010). Ergebnisse und Empfehlungen zum integrierten Pflanzenschutz im Ackerbau. Rostock.

MLU (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern), 2009. Agrarbericht 2009 des Landes Mecklenburg-Vorpommern, (Berichtsjahr 2008).

Oakley, E.; Zhang, M. & Miller, P. R. (2007). Mining pesticide use data to identify best management practices. Renewable Agriculture and Food Systems 22 (4), 260-270.

- Pallutt, B. (1999). Einfluss von Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Herbizidanwendung auf Populationsdynamik und Konkurrenz von Unkräutern in Wintergetreide. *Gesunde Pflanzen* 51 (4), 109-120.
- Penrose, L. J.; Bower, C. C. & Nicol, H. I. (1996). Variability in pesticide use as a factor in measuring and bringing about reduction in pesticide usage in apple orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 59 (1), 97-105.
- Pfeil, R. (2010). Pesticides as dangerous as pestilence? *Aktuelle Ernährungsmedizin* 35 (Suppl. 1), 26-31.
- Roßberg, D. (2002). NEPTUN 2000 - Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands. *Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 98.
- Roßberg, D. (2007). NEPTUN oder "Wie oft wird gespritzt?". *Gesunde Pflanzen* 59, 55-65.
- Roßberg, D.; Michel, V.; Graf, R. & Neukampf, R. (2007). Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 59 (7), 155-161.
- Sattler, C.; Kächele, H. & Verch, G. (2007). Assessing the intensity of pesticide use in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119 (3), 299-304.
- Sonne, C. (2010). Health effects from long-range transported contaminants in Arctic top predators: An integrated review based on studies of polar bears and relevant model species. *Environment International* (im Druck).
- Statistisches Bundesamt (2010). Sterbefälle durch Unfälle nach Folgen äußerer Ursachen und Unfallkategorien (ab 1998). Gliederungsmerkmale: Jahre, Region, Alter, Geschlecht, Nationalität, ICD-10 (S-T), Unfallkategorie. http://www.gbe-bund.de/oowa921-install/servlet/oowa/aw92/dboowasys921.xwdevkit/xwd_init?gbe.isgbetol/xs_start_neu/&p_aid=i&p_aid=32646286&nummer=631&p_sprache=D&p_indsp=&p_aid=31125014. Besucht am 29.4.2010.
- Stern, V. M.; Smith, R. F.; Van den Bosch, R. & Hagen, K. S. (1959). The Integrated Control Concept. *Hilgardia* 29, 81-101.
- Verch, G. & Kächele, H. (2005). Möglichkeiten und Grenzen einer flächendeckenden Pflanzenschutzmittelerhebung. Anwendung der Ergebnisse des NEPTUN-Projekts am Beispiel Nordbrandenburgs. *Pflanzenbauwissenschaften* 9 (2), 80-86.
- Zadoks, J. C. & Waibel, H. (2000). From pesticides to genetically modified plants: History, economics and politics. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 48 (2), 125-149.
- Zadoks, J. C. (2002). Fifty years of crop protection, 1950-2000. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 50 (2), 181-194.
- Ziesemer, A. & Lehmann, E. (2008). Schlagkarteianalysen aus Referenzbetrieben in Mecklenburg-Vorpommern als Grundlage für die ökonomische Bewertung der Mähdruschfruchtproduktion. *Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei* 40, 6-17.

2. The “necessary extent“ of pesticide use – thoughts about a key term in German pesticide policy

Jana Bürger, Friederike de Mol & Bärbel Gerowitt (2008)
Crop Protection 27, 343-351.

2.1. Abstract

German plant protection law demands of farmers to limit the use of pesticides to a necessary extent. In this article, we have developed a theoretical framework on deciding on pesticide use. We look at three different ways of interpreting how much pesticide is "necessary" to control a pest on a crop: 1) using a product at the recommended dose when a pest is found or a precautionary treatment thought necessary, 2) optimising pesticide use for economic savings through adjusted doses, thresholds etc. and 3) minimising pesticide need by altering the cultivation system to lower the risk of pests. The smallest pesticide use intensity can be reached by combining approaches 2 and 3.

In practice, information on optimising pesticide use, needs further research to reduce the uncertainty about the effects of agronomical control measures, both in respect to economics and risk.

2.2. Introduction

Plant protection policy at both the European and national level in member states, aims to reduce risks associated with pesticide use. Pesticides are used in farming to secure crop yields and improve product quality. Their use has helped to immensely increase agricultural productivity. But it is also associated with a number of negative external effects, e.g. pollution of waterways and non target ecosystems, risks for human health and costs for monitoring of residues on food (Bowles and Webster, 1995; Waibel et al., 1999). Thus, the European Commission has developed a Thematic Strategy on Sustainable Use of Pesticides (Commission, 2006 a). In Germany, a Reduction Programme for Pesticides with a collection of different measures was issued by the government in 2004 (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, 2005).

One of the possible strategies is to reduce the amount of pesticides used. The German plant protection law stipulates that farmers should use integrated pest control, i.e. “a combination of techniques, including biological, biotechnical, plant breeding, and agronomical methods in order to limit the use of chemical plant protection products to a necessary extent” (Crop Protection Act of 14 May 1998). Unfortunately, the regulation is not very precise on the question of what is necessary.

The German Reduction Programme contains a more detailed definition for the term: “The necessary extent of pesticide use describes the intensity of pesticide use which is necessary to maintain crop production, especially in respect of profitability. It is expected that all other practicable pest control measures are utilised. Environmental and consumer protection also need to be adequately considered.” (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, 2005)

Even with this definition the term “necessary extent” can be interpreted quite differently. One possible view is that using pesticides at the recommended doses, following all environmental regulations (like obligations for no-spray ‘buffer’ zones to protect waterways etc.), will be acceptable, if it is profitable. Farmers argue that, under current economic pressures, they are already optimising plant protection and pesticide use at the intensity necessary to maintain profitable cropping.

Despite the somewhat imprecise German wording, a second possible interpretation of the “necessary extent” is that, the definition and the Reduction Programme clearly aim to reduce pesticide use to a necessary minimum. This perception of the “necessary extent” is often represented and promoted by practical agricultural scientists and plant protection authorities (Burth et al., 2003). The pesticide intensity needs to be reduced by more integration of treatment thresholds, reduced doses of pesticides, and optimised mixtures than farmers do at present.

A third possible perception is that the extent of pesticide use needs to be reduced through the adoption of non-chemical measures in order to lower the risk of infestation or pests, and using pesticides as a last measure. For arable crops this includes mainly agronomical measures including the choice of resistant cultivars. Methods like mechanical weeding, or biological insect control can be a substitution for pesticide use in individual cases, but cannot generally replace pesticide use.

Most recent development in European regulation shows how the aim to reduce pesticide use intensity to a minimum can be directly expressed. The proposal for a new regulation concerning the placing of plant protection products on the market (COM (2006) 388) demands the use of “Good Plant Protection Practice, a practice whereby the treatments with plant protection products applied to a given crop, ..., are selected, dosed and timed to ensure optimum efficacy with the minimum quantity necessary, taking due account of local conditions and of the possibilities for cultural and biological control” (Commission, 2006 b). This definition also explicitly includes the ways of reducing pesticide use as described before.

In practice, a lot of information is available for farmers on optimising pesticide use. However, there is also much uncertainty about the effects of agronomical control measures, both in respect to economics and risk. Yet, we believe, the avoidance of diseases and pests promises a much higher reduction potential than merely optimising the amounts of pesticides used.

In this paper, we will firstly develop a theoretical framework on decision making for pesticide use. Within this framework, we will then explore the three different perceptions of “necessary extent” and the resulting approaches to determine the necessary pesticide use intensity. Attention is also paid to economic considerations. Limits of the concept and practical application are discussed. The paper focuses on arable crops. Following the Glossary of Phytosanitary Terms published by the FAO (2006), we use “pest” as a synonym for all organisms injurious to plants, including fungal pathogens, weeds and insects.

2.3. A framework for decisions on pesticide use

Knowledge from different research fields is needed in order to reach treatment decisions: Crop-loss-models have been developed by weed researchers, phytopathologists and entomologists to show the relationship between pest or disease intensity and yield loss. Dose-response-curves illustrate the effect that a pesticide has on a certain pest, so that doses required for a given level of control can be calculated. Economists and practitioners then calculate profitability, comparing costs and returns. All of these relationships change under varying system conditions.

The decision process can be illustrated using Figure 1: The pressure of infestation by harmful organisms on a crop depends mainly on the environmental conditions. Depending also on the cropping system, cultivar resistance and crop condition this will lead to a certain level of disease or pest infestation P as is shown in Figure 1a. The crop-loss-model (Fig. 1b) reflects the possible yield without any control measures $Y_{w/o}$. A pesticide treatment can eliminate the disease or pest. The necessary dose PU can be obtained from the dose-response-curve in Fig. 1c. Finally, profitability of

the treatment can be tested by comparing prevented monetary loss in gross returns ($GR_w - GR_{w/o}$) with the cost of the treatment C . Differing from the usual presentation of profit calculation in economics, gross returns in Figure 1d include revenues minus all production costs apart from pesticide treatment. Costs of the treatment C comprise of material cost as well as spraying costs. A profitable treatment will increase the net return from $NR_{w/o}$ to NR_w . The extent of the difference in return is greatly dependent on crop prices as well as pesticide prices. High crop prices increase profitability of pesticide use, high pesticide prices decrease it.

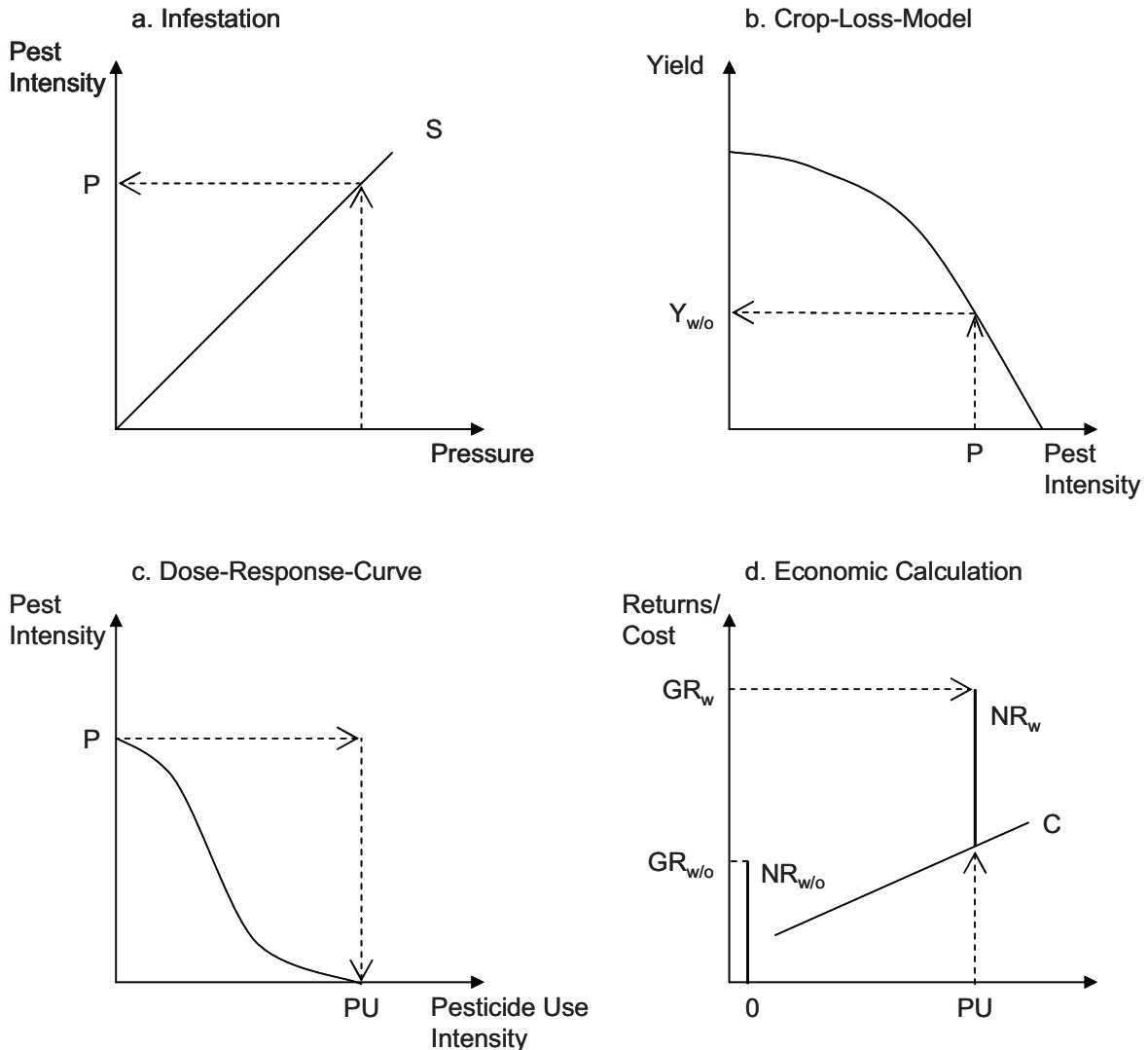


Figure 1: S – cropping system with certain combination of cultivation practices determining how much the crop is affected by a given infestation pressure; P – observed pest intensity; $Y_{w/o}$ – Yield without pesticide treatment, PU – amount of pesticide needed to eliminate pest; GR_w , $GR_{w/o}$ – Gross Returns (above all other production costs) with or without treatment, C – Cost of treatment, NR_w , $NR_{w/o}$ – Net Returns with or without treatment ($NR = GR - C$)

2.4. Effect of pesticide reductions not altering the cropping system

In some cases, a low disease, weed or pest infestation will cause only minor or no yield loss. In other cases, the costs of a treatment are higher than the expected damage. Economic thresholds for treatment have been established for a number of pests (examples e. g. Gerowitt and Heitefuß, 1990; Shtienberg, 2000; Larsson, 2005). On the basis of epidemiological surveys and calculations of prices and costs, economic injury levels are calculated. The action threshold for treatment is often a little lower to avoid a sudden increase in pest level before a possible reaction. If pest intensity remains lower than the action threshold, a treatment can be omitted.

Also, complete pest control may not be appropriate to maximise profit. For example, it is possible to tolerate some remaining weeds after treatment. Herbicide doses can then be reduced. Similarly, some fungicides with curative as well as protective properties can be sprayed in smaller amounts if the treatment is delayed until the threshold for the curative treatment is reached. In this case, even the smaller dose will give enough protection for the rest of the season.

Figure 2 illustrates the example of thresholds: Using the crop-loss-model (Fig. 2b), the tolerable infestation P_{tol} can be identified according to the yield target YT for the crop. The yield target should be determined by farmers based on their knowledge of location, cultivar and cropping system as well as their experience. If P is lower than P_{tol} no treatment is needed. Should infestation exceed the threshold, but a remaining population P_{tol} be tolerated, only a reduced dosage of herbicide P_{ured} is needed for treatment (Fig. 2c). The calculation of profitability in Figure 2d shows that net returns increase due to the lower treatment costs even if yields and gross returns are slightly less than with full dose treatment.

Apart from the use of thresholds which form an integral part of integrated pest management, the use of pesticides should be optimised according to the pests to be treated and the environmental conditions. Choosing an appropriate pesticide, or a mixture, as well as adjusting doses to environmental conditions at spraying time, can save inputs and costs while increasing treatment success. In Germany, the plant protection services of the federal states undertake considerable research on effectiveness and profitability of pesticide treatments, and publish the results in advisory publications. In addition, the use of prediction systems, forecasts and decision support systems can help to optimise pesticide use. One example from Germany is IPM model Wheat, a decision support system on fungicides in wheat (Verreet, 1995). Nowadays, many support tools are offered on specialized internet platforms. ISIP, for example, is the joint advisory platform of German federal states and chambers of agriculture (Röhrig and Sander, 2006). (see also <http://www.isip.de>).

Summing up, the amount of pesticide used is dependent on various factors such as the level of infestation, yield target, pesticides on offer, and good use of information. The pesticide reduction attained by use of monitoring, thresholds, adjusted doses etc. is required in the second interpretation of “necessary extent” described in the introduction.

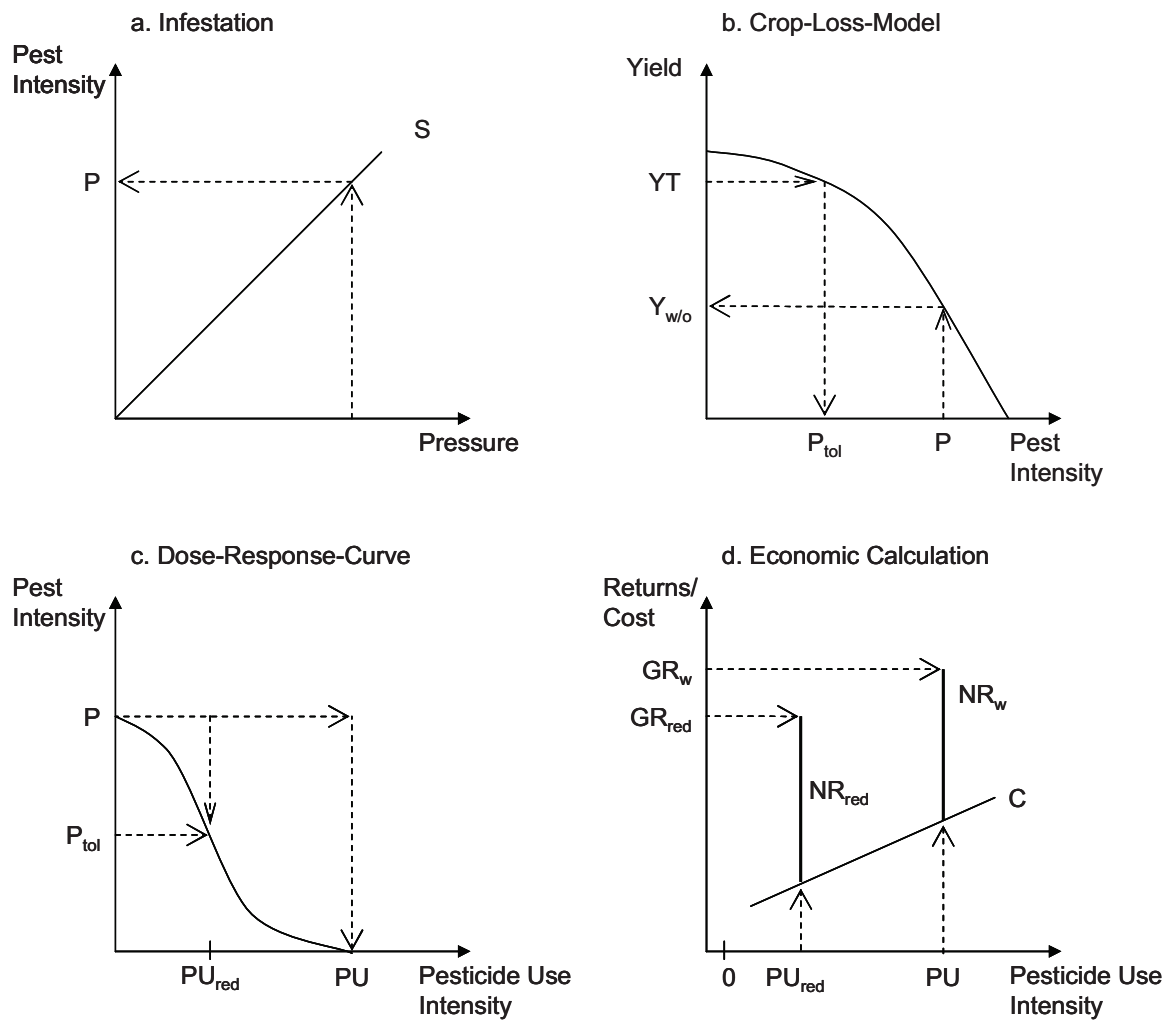


Figure 2: S – cropping system with certain combination of cultivation practices determining how much the crop is affected by a given infestation pressure, P – observed pest intensity, $Y_{w/o}$ – Yield without pesticide treatment, YT – yield target, P_{tol} – tolerable amount of infestation, economic threshold for treatment, PU – amount of pesticide needed to eliminate pest completely, PU_{red} – amount of pesticide needed to reduce pest to a tolerable level, GR_w , GR_{red} – Gross Returns (above all other production costs) with full or reduced dose treatment, C – Cost of treatment, NR_w , NR_{red} – Net returns with full or reduced dose treatment ($NR=GR-C$)

2.5. Assessing treatment decisions in regard to the "necessary extent"

Two basic approaches have been proposed in Germany to compare treatment decisions on the field or farm level to an objectively derived "necessary extent". The parameter for the quantification of pesticide use intensity used in both approaches is called Standardized Treatment Index (STI). The STI counts the number of pesticide applications to a crop over one season, reduced dosages and non-spraying of field parts decreasing the index value. (see Sattler et al. (2007) for a more detailed description).

One approach is the fixing of a quantitative target of pesticide use intensity on the grounds of broad statistical surveys in practical agriculture. This approach is used in Denmark where reduction target values for major crops are set based on recent use statistics (Miljøministeriet and Fødevareministeriet, 2003). In Germany, Burth et al. (2002) suggested calculating acceptable levels of pesticide intensity based on a national survey of pesticide use in the year 2000. Based on pesticide use data from more than 900 arable farms (Roßberg, 2002), STI was calculated for 10 major crops on the farm level. This was followed by aggregation at regional level, taking regions of similar production conditions. The "necessary extent" is estimated by the regional mean STI. Allowing a corridor of one standard deviation, a maximum tolerable pesticide use intensity MTP is derived for each region (Burth et al., 2003). The method has been integrated into systems for the environmental assessment of farms (Gernand et al., 2005; Heyer et al., 2005). Limits of the method are the enormous effort for data collection, and problems associated with declaration of the cropping regions (Verch et al., 2005).

The second approach tries to assess necessity of single treatments, examining the use of thresholds and other possible optimisation measures. Researchers in this field check for the ideal of integrated plant protection. They combine tests of practical farmers with scientific experiments on the effects of integrated measures such as the use of reduced dosages (Freier et al., 2006; Pallutt et al., 2006).

2.6. Effect of pesticide reductions through substitution with agronomical control methods

Chemical plant protection measures are often used to secure modern crop cultivation techniques such as reduced tillage and short crop rotations, or to compensate for deficiencies in cultivation. Due to economic pressure, phytosanitary considerations are seen as being less important in crop planning. Crop choice focuses on the profitability of the crops although a diverse crop rotation is the main agronomic measure to avoid specialised weeds and typical diseases caused by soil-born pathogens. Reduced tillage promises economic savings through reduced fuel, time and machinery. It is also an important measure of soil protection in vulnerable locations. On the other hand, reduced tillage is associated with higher weed levels, and a resulting need to use herbicides. Other cultivation measures, such as early sowing, which can lead to early infection with diseases or late infestations of insects may be used for operational reasons to ease workloads in busy times.

In all of these examples, pesticide use intensity could be reduced by giving up the risky cultivation techniques and changing to protective agronomical measures. This was introduced earlier as the third way of interpreting the "necessary extent". Taking the definitions of "necessary extent" given above, we need to analyse how a reduction of chemical control by substitution for agronomical control methods affects the profitability of crop cultivation.

One characteristic of protective pest control is that these measures often influence the phytosanitary situation in general and long term. Thus, (monetary) costs and benefits are more difficult to isolate than for chemical control. Nevertheless, economic effects can be analysed and illustrated principally as in Figure 3. Here the system used before (named S1) is compared to an altered system S2 which incorporates a protective cultivation measure. Figure 3a shows how a certain pest pressure will result in a lower pest intensity in S2 than in S1. The change in cropping system may alter the yield target YT as well as the resulting thresholds P_{tol} (Fig. 3b).

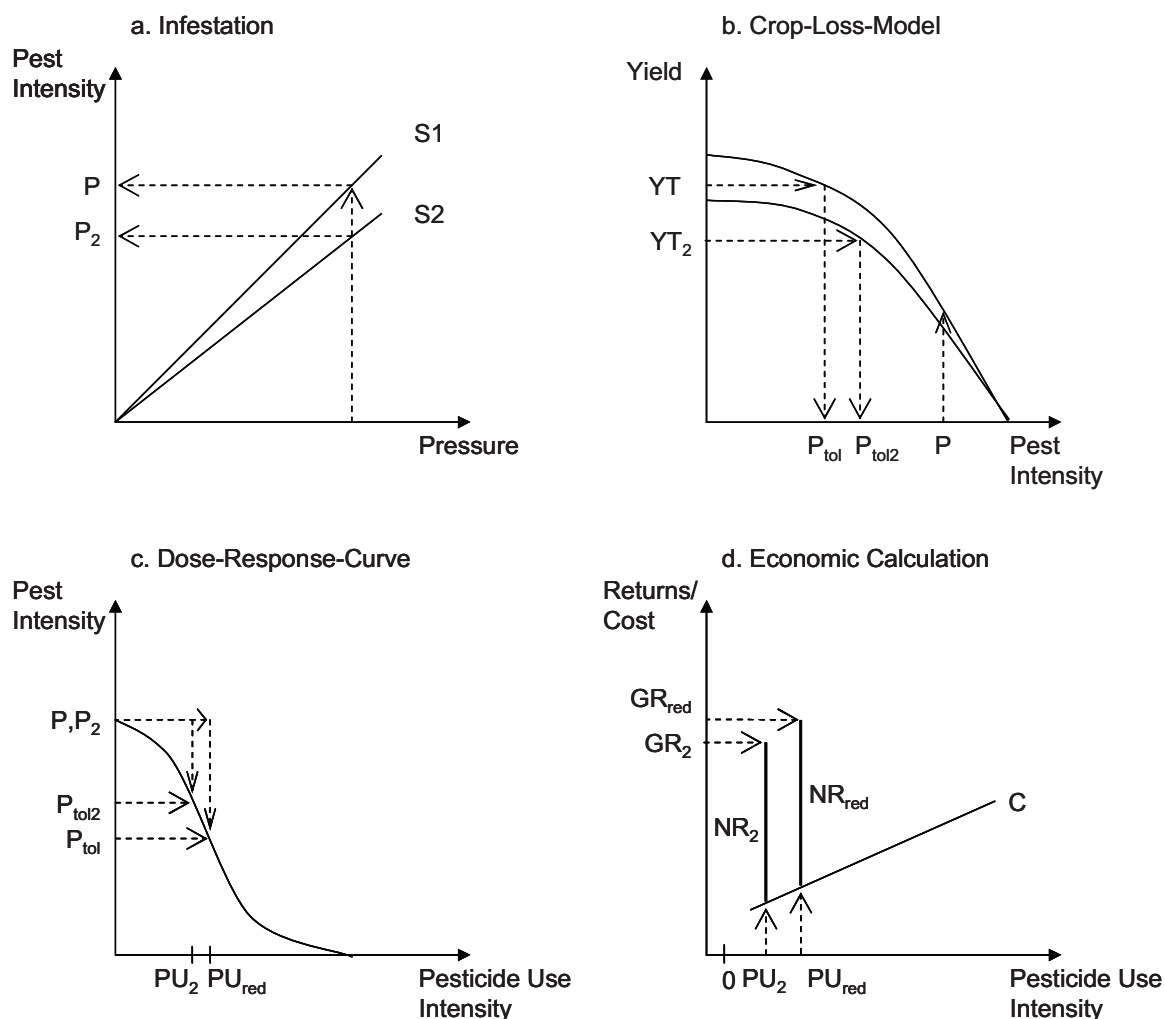


Figure 3: S1 – cropping system as before, S2 – altered cropping system with a protective agronomical cultivation measure, P , P_2 – observed pest intensity in systems 1 and 2, YT , YT_2 – yield target in systems 1 and 2, P_{tol} , P_{tol2} – tolerable amount of infestation, economic threshold for treatment in systems 1 and 2, PU_{red} , PU_2 – amount of pesticide needed to reduce pest to tolerable level in systems 1 and 2, GR_{red} , GR_2 – Gross Returns (above all other production costs) in systems 1 and 2, C – Cost of treatment, NR_{red} , NR_2 – Net Returns in systems 1 and 2 ($PR=R-C$)

Due to the preventative measure, a smaller pesticide use intensity is needed in S2 than S1. Figure 3d shows the comparison between protective measure and pesticide treatment in respect of profitability. Standard agricultural teaching texts (e. g. Reisch and Zeddies, 1992) present the costs and benefits which need to be compared in order to analyse the economy of agronomical control methods, especially compared with chemical control. If a resistant cultivar is available, higher seed costs and the smaller yield potential are costs which reduce the possible gross returns from GR_{red} to GR_2 . As

less pesticide is used, treatment cost for S2 decreases. Comparing net returns NR_{red} to NR₂ will show whether agronomical measure or chemical treatment are more profitable.

Scientific studies on the economic effects of the different possible measures exist only in very limited numbers. Research is numerous only on the effects of cultivation methods on infestation with diseases or disease complexes, with weeds, with insects, on the course of the epidemic, or on yield (Chevalier-Gérard et al., 1994; Colbach et al., 1999; Glen, 2000; Cunfer et al., 2006; Montanari et al., 2006; Zhang et al., 2006). Sometimes, also the effects on pesticide use intensity are studied (Nazarko et al., 2005).

Some IPM programs are evaluated for economic effects (Musser et al., 1986; Verreet, 1995; Fernandez-Cornejo, 1996; Trumble, 1998; Finger, 2004; Hammond et al., 2006). As they are mostly complex programs, these studies do not provide information on the effect of single cultivation measures. Moreover, the programs are not necessarily focussed on preventive pest management (Trumble, 1998). For example, the IPM-Model-Wheat in Germany is mainly a decision support system for fungicide sprayings, incorporating monitoring, action thresholds, and recommendations for fungicide choice and amount. The model is only accompanied by some additional advice on using resistant cultivars and avoiding high risk cropping systems (Verreet, 1995).

To illustrate the research situation further, we want to explore the evidence on cultivation of less susceptible cultivars as one example measure, and on tillage (conventional vs. reduced) as a second example. Many studies in phytopathology have looked at the effect of cultivar specific susceptibility on infestation and epidemics of pests. Cultivar properties are checked by registration authorities and published in cultivar lists (in Germany e. g. Bundessortenamt, 2006). Cultivars have been developed which are resistant to single diseases, some even have a similar yield potential to susceptible high yielding cultivars (Freimann, 2005).

Only very few studies have investigated the economic effects of using resistant cultivars. Compared to using resistant cultivars, the fungicide treatments needed for susceptible cultivars can become non-profitable. Mathre et al. (1997) report that for barley a 7% higher yield of a susceptible cultivar could not cover the fungicide costs necessary to obtain this yield advantage compared to a less susceptible cultivar. Kuhlmann and Heitefuß (1987) found the same for powdery mildew in wheat. Barber et al. (2003) calculated a net return that was 120% higher in an aphid resistant hops cultivar (without a treatment) compared to a susceptible choice with a full insecticide treatment. We did not find scientific publications with more precise information on economic benefits of cropping resistant cultivars.

Considerably more studies have investigated the economic effects of different tillage systems, also considering chemical plant protection. Reduced tillage is usually connected with a higher weed infestation, and may also contribute to higher infection rates with soil borne pathogens if stubble management is poor (Sturz et al., 1997; Bockus and Shroyer, 1998; Montanari et al., 2006). Use of herbicide is substantially increased. Some findings of studies which compared herbicide costs of different tillage systems are collected in Table 1.

Table 1: Comparison of herbicide costs and over all return for different tillage systems

Author	Crop	Extra cost for herbicides compared to conventional tillage	Difference in profit/ return
Waldorf et al. (2003)	Wheat	RT*:17 €/ ha ZT:38 €/ ha	only profitable with payments of 60 €/ha from agri-environmental scheme MEKA 2 for soil conservation
Malhi et al. (1988)	Barley	RT: 46\$/ha	49 \$/ha
Zentner et al. (2002)	Summer wheat	ZT:51\$/ha	8 \$/ha
	Winter wheat	ZT: no difference	17 \$/ha

* RT - reduced tillage, ZT - zero tillage

A number of large studies were conducted in Europe in the 1980's and 1990's, which were based on a system approach. Single cultivation measures were not studied but researchers designed whole integrated cropping systems, including the use of less susceptible cultivars, adjusted doses of mineral N fertiliser, combinations of conventional and reduced tillage, and methods of mechanical weed control. The agronomic protection methods were mostly combined with a generally lower production intensity. Ecological and economic effects were analysed (Vereijken, 1989; Holland, 1994; Jordan et al., 1997; Wechselberger et al., 1999; El Titi, 1999; Eltun et al., 2002; Steinmann, 2003). Although, no conclusions on the economic effects of single agronomic measures are possible, the results of the studies show how a smaller pesticide use intensity can be linked to economic success .

In the integrated cropping systems, pesticide use could be reduced substantially compared to the reference systems. The different projects reported cost savings for chemical plant protection between 36% and 84% (Table 2). On the whole, yields are up to 23% lower in the integrated cropping systems. Despite this, gross margins differ only by around 5% to 10%. In some cases, the studies report even higher margins in the integrated systems.

In summary, we have to recognise that empirical evidence on the economic effects of agronomic pest management measures, especially in comparison to chemical treatments, is rare. Farmers have little information on which to base decisions for cropping system changes towards less pesticide use.

Table 2: Comparison of yield, pesticide costs and gross margin of conventional and integrated cropping systems in European cropping system experiments – winter wheat and whole crop rotations

Author	Project, Country	Yield [dt/ha]*		Cost of pesticides [€/ha]			Gross margin [€/ha if not stated otherwise]			
		Conv.	Int.	Rel.(%)	Conv.	Int.	Rel.(%)	Conv.	Int.	Rel.(%)
Winter wheat										
Vereijken (1989)	Nagele, NL	76	70	-8	n.s.*	n.s.	n.s.	Dfl/ha 2890	Dfl/ha 2770	-4
	INTEX, GER (1990-1993)									
Kerkhof (1996)	Reinshof	102	78	-23	569	126	-78	1891	1793	-5
	Marienstein	85	68	-20	523	189	-64	1507	1422	-6
	Eickhorst	72	66	-8	353	155	-56	1311	1360	4
	"Holstein Mehl", GER	78	74	-6	268	141	-47	1665	1746	5
Jordan et al. (1997)	LIFE, UK	64	59	-8				£/ha 577	£/ha 576	+/-0
El Titi (1999)	Lautenbacher Hof, GER	63	61	-3,5	379	175	-54	1589	1732	9
Steinmann (2003)	INTEX, GER (1990-2002)								compared with conv.	
	Leinetal=Reinshof	100	n.s.	-15	n.s.	n.s.	-65	n.s.	-65	n.s.
	Hügelland=Marienstein	90	n.s.	-20	n.s.	n.s.	-50	n.s.	-79	n.s.
Whole crop rotation										
Kerkhof (1996)	INTEX, GER (1990-1993)				407	65	-84	1676	1697	1
	Reinshof									
	Marienstein				378	115	-70	1448	1194	-18
	Eickhorst				285	109	-62	1485	1471	-1
El Titi (1999)	Lautenbacher Hof, GER	n.s.	n.s.	-0,8	n.s.	n.s.	-36	n.s.	n.s.	3,5
Eltun et al. (2002)	Apelsvoll, NOR							1000* Nkr/ ha 421	1000* Nkr/ ha 402	-5

* conv. – conventional cropping system, int. – integrated cropping system, rel. – relative: integrated compared to conventional, n.s. – not specified

2.7. Conclusions for approaching the term "necessary extent" of pesticide use / Practical application

We have discussed three different ways to determine how much pesticide is needed on a crop to control a pest: 1) use of a product at the admitted dose when a pest is found or a precautionary treatment thought necessary, 2) optimising pesticide use for economic savings through adjusted doses, thresholds etc. and 3) minimising pesticide use need by optimising the cultivation system for lower risk of pests. The smallest pesticide use intensity can be reached by combining approach 2) and approach 3).

The term "necessary extent" is defined as the level of pesticide use which is necessary when all feasible non chemical measures have been used. We believe that the calculation of a reference and evaluation (benchmark) value should consider reduction opportunities through protective cultivation methods more consequently than the two existing assessment methods for the "necessary extent" described earlier do. Economic considerations must be included also.

It is necessary to check what effect certain cropping methods have on both pesticide use intensity and profitability. Then, the feasibility of protective cultivation measures (and of crop protection alternatives) must be discussed. Questions are: Which measures can be implemented on a farm, what is practicable? How much can farmers be expected to do? How can the pesticide use intensity on a farm, with its specific characteristics, be fairly compared to the "necessary extent" benchmark?

These questions relate to the process of policy-making. Sustainable use of plant protection products must balance economy, ecology and social aspects. Cropping must be profitable for the farmers and secure affordable food supplies whilst minimising negative environmental impacts. Over the last few years, the long existing term "necessary extent" has been defined more clearly through political initiatives (Reduction Program), and complementary legal instructions to strengthen its aim towards limitation to a "necessary minimum". If wording was loose in the beginning in order not to scare farmers too much it is time to sharpen the efforts by serious discussion of all reduction possibilities, demanding farmers to use them. At least until the next chance for re-wording comes up in a new Plant Protection Act (similar to the upcoming European legislation).

The willingness of farmers to use IPM systems and their reasons for (non-)adoption have been analysed (Llewellyn et al., 2004; Nazarko et al., 2005; Gladders et al., 2006). The use of IPM systems is often connected with a high level of monitoring and decision processes (Steinmann, 2003). Knowledge and experience must be acquired for successful implementation. A big educational effort is necessary when implementing IPM programs (Trumble, 1998). Farmers may avoid the effort if it is not obligatory and they perceive that savings through lower pesticide use does not justify the effort. Experiences with the implementation of the IPM-model "Wheat" show, that already one year of intensive supervision gives farmers competence in diagnosis, field scouting and the use of thresholds (Wittrock and Verreet, 2000).

It is a promising approach to convince farmers with studies that can show the economic benefits (especially in the short term) (Webster, 1997; Trumble, 1998). Another incentive for farmers to adopt IPM programs can be to stop or slow down resistance development in pests which would lead to a situation where no effective control is available anymore (Trumble, 1998; Reitz et al., 1999; Llewellyn et al., 2004).

Complex practices are less likely to be adopted (Nazarko et al., 2005). Therefore the promotion of single preventative measures in the context we discussed here could invite farmers to start adoption of a more preventative pest management. Steinmann (2005) suggested the transfer of single experimentally examined elements of integrated crop management. It can be expected that the successful adoption of a single measure will consequently lead to a more complete change in crop and pest management on the farm.

In case that the proposed studies show non-profitability of preventative measures or high costs of adoption other ways of promotion might be necessary (Webster, 1997). A compensation for risk-taking as proposed by Penrose et al. (1996) could be discussed. One way could be the inclusion of IPM measures into agri-environmental programs as it has already been practiced in the USA (Brewer et al., 2004). Last but not least, it may also be an option to change certain attitudes as Trumble (1998) suggests, and accept that IPM will provide "an acceptable income with minimum pesticide" rather than "maximum profits with minimum pesticide use".

Altogether, more knowledge is needed about the economic effects of certain pest management measures to appropriately promote their adoption in the context of reducing pesticide use. Freier et al. (2006) have proposed a test and example farm network to be established in Germany for the study of IPM and pesticide reduction options. This could also give very good opportunities for the economic analyses we suggest. Moreover, the relationship between general findings and individual cases could be explored.

The calculation of a benchmark for the "necessary extent" of pesticide use should in future be modified to give due attention to possible agronomical pest management methods. In addition, it needs to be complemented by economical analyses. With the publication of all findings, the benchmarking process could be a practical help to farmers in deciding on their pest management strategies. Moreover, the modifications would give the "necessary extent" a clear example quality reflecting best practice and state of the art.

2.8. References

- Barber, A., Campbell, C., Crane, H., Darby, P., Lilley, R., 2003. Cost-benefits of reduced aphicide usage on dwarf hops susceptible and partially resistant to damson-hop aphid. *Ann. Appl. Biol.* 143(1), 35-44.
- Bockus, W., Shroyer, J., 1998. The impact of reduced tillage on soilborne plant pathogens. *Ann. Rev. Phytopathol.* 36, 485-500.
- Bowles, R., Webster, J., 1995. Some problems associated with the analysis of the costs and benefits of pesticides. *Crop Prot.* 14(7), 593-600.
- Brewer, M., Hoard, R., Landis, J., Elworth, L., 2004. The case and opportunity for public-supported financial incentives to implement integrated pest management. *J. Econ. Entomol.* 97(6), 1782-1789.
- Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, 2005. Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz. Berlin.
- Bundessortenamt, 2006. Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen (großkörnig), Hackfrüchte (außer Kartoffeln) 2006. Deutscher. Landwirtschaftsverlag, Hannover.
- Burth, U., Gutsche, V., Freier, B., Roßberg, D., 2002. Needed minimum of pesticide application. *Nachrichtenblatt Dtsch. Pflanzenschutzd.* 54(12), 297-303, (German, Engl. summary).
- Burth, U., Gutsche, V., Freier, B., Roßberg, D., 2003. Defining the “necessary minimum” of pesticide use. <http://ec.europa.eu/environment/ppps/pdf/bbareaction.pdf> , visited 12. April 2007.
- Chevalier-Gérard, C., Denis, J., Meynard, J., 1994. Estimation of yield loss caused by fungal diseases on winter wheat: construction and validation of a model taking into account the effects on the cropping system. *Agronomie* 14(5), 305-318.
- Colbach, N., Meynard, J., Duby, C., Huet, P., 1999. A dynamic model of the influence of rotation and crop management on the disease development of eyespot. Proposal of cropping systems with low disease risk. *Crop Prot.* 18(7), 451-462.
- Commission of the European Communities, 2006 a. A Thematic Strategy on the Sustainable Use of Pesticides, COM(2006) 372. Brussels.
- Commission of the European Communities, 2006 b. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council concerning the placing of plant protection products on the market, COM(2006) 388. Brussels.
- Cunfer, B. M., Buntin, G., Phillips, D. V., 2006. Effect of crop rotation on take-all of wheat in double-cropping systems. *Plant Dis.* 90(9), 1161-1166.
- El Titi, A., 1999. Lautenbacher Hof Abschlussbericht 1978 - 1994: ein langfristiger Vergleich integrierter und konventioneller Bewirtschaftungssysteme im Ackerbau in Baden-Württemberg. Ulmer, Stuttgart.
- Eltun, R., Korsæth, A., Nordheim, O., 2002. A comparison of environmental, soil fertility, yield, and economical effects in six cropping systems based on an 8-year experiment in Norway. *Agric. Ecosyst. Environ.* 90(2), 155-168.
- FAO, 2006. Glossary of phytosanitary terms. Rome.
- Fernandez-Cornejo, J., 1996. The microeconomic impact of IPM adoption: theory and application. *Agric. Res. Econ. Rev.* October 1996, 149-160.

- Finger, I., 2004. Das IPS-Modell Weizen: Untersuchungen zur Effektivität und Funktionalität unter niedersächsischen Anbau- und Klimabedingungen (1998 - 2001) sowie zum bundesweiten Auftreten von *Puccinia striiformis* und *Puccinia recondita* (1993 - 2001). Kiel.
- Freier, B., Pallutt, B., Günther, A., 2006. Investigations on intensity of pesticide use in arable farms - basis for establishing a net of reference farms. *Nachrichtenblatt Dtsch. Pflanzenschutzd.* 58(4), 98-103, (German, Engl. summary).
- Freimann, G., 2005. Ertragssteigerung setzt sich fort. *GetreideMagazin* 3/2005, 177-179.
- Gernand, U., Eckert, H., Roßberg, D., 2005. Assessment of the intensity of applications of plant protection products by VDLUFA. *Gesunde Pflanzen* 57(5), 105-109, (German, Engl. summary).
- Gerowitt, B., Heitefuß, R., 1990. Weed economic thresholds in cereals in the Federal Republic of Germany. *Crop Prot.* 9(5), 323-331.
- Gladders, P., Evans, N., Marcroft, S., Pinochet, X., 2006. Dissemination of information about management strategies and changes in farming practices for the exploitation of resistance to *Leptosphaeria maculans* (Phoma Stem Canker) in oilseed rape cultivars. *Europ. J. Plant Pathol.* 114, 117-126.
- Glen, D., 2000. The effects of cultural measures on cereal pests and their role in integrated pest management. *Integr. Pest Manag. Rev.* 5(1), 25-40.
- Hammond, C., Luschei, E., Boerboom, C. M., Nowak, P., 2006. Adoption of integrated pest management tactics by Wisconsin farmers. *Weed Technol.* 20(3), 756-767.
- Heyer, W., Roßberg, D., Abraham, J., Christen, O., 2005. Measurement and evaluation of plant protection intensity on farm level within the REPRO-concept. *Nachrichtenblatt Dtsch. Pflanzenschutzd.* 57(6), 126-131, (German, Engl. summary).
- Holland, J., 1994. Progress towards integrated arable farming research in western Europe. *Pesticide outlook* 5(6), 17-24.
- Jordan, V., Hutcheon, J., Donaldson, G., Farmer, D., 1997. Research into and development of integrated farming systems for less-intensive arable crop production: experimental progress (1989-1994) and commercial implementation. *Agric. Ecosyst. Environ.* 64(2), 141-148.
- Kerkhof, F., 1996. Betriebswirtschaftliche Beurteilung unterschiedlich umweltverträglicher Systeme des Ackerbaus. Vauk, Kiel.
- Kuhlmann, J., Heitefuß, R., 1987. Höchste Intensität - höchster Deckungsbeitrag? *Pflanzenschutz-Prax.* 2/1987, 30-33.
- Larsson, H., 2005. A crop loss model and economic thresholds for the grain aphid, *Sitobion avenae* (F.), in winter wheat in southern Sweden. *Crop Prot.* 24(5), 397-406.
- Llewellyn, R., Lindner, R., Pannell, D., Powles, S., 2004. Grain grower perceptions and use of integrated weed management. *Austr. J. Exp. Agric.* 44, 993-1001.
- Malhi, S., Mumey, G., O'Sullivan, P., Harker, K., 1988. An economic comparison of barley production under zero and conventional tillage. *Soil Tillage Res.* 11(2), 159-166.
- Mathre, D., Kushnak, G., Martin, J., Grey, W., Johnston, R., 1997. Effect of residue management on barley production in the presence of Net Blotch Disease. *J. Prod. Agric.* 10(2), 219-220.
- Miljøministeriet, Fødevareministeriet, 2003. Pesticidplan 2004 - 2009 for nedsættelse af pesticidanvendelsen og pesticidbelastningen. <http://www.mim.dk/NR/rdonlyres/4C4044D9-A25C-476F-A1BE-332F148B9A31/0/pesticidplan.htm>, visited 12. April 2007.

- Montanari, M., Innocenti, G., Toderi, G., 2006. Effects of cultural management on the foot and root disease complex of durum wheat. *J. Plant Pathol.* 88(2), 149-156.
- Musser, W., Wetzstein, M., Reece, S., Varca, P., Edwards, D., Douce, G., 1986. Beliefs of farmers and adoption of integrated pest management. *Agric. Econ. Res.* 38(1), 34-44.
- Nazarko, O. M., Van Acker, R. C., Entz, M. H., 2005. Strategies and tactics for herbicide use reduction in field crops in Canada: A review. *Can. J. Plant. Sci.* 85(2), 457-480.
- Pallutt, B., Jahn, M., Freier, B., 2006. Evaluation of strategies to reduction of plant protection products. *Mitt. Biolog. Bundesanst.* 400, 100-101 (German).
- Penrose, L., Bower, C., Nicol, H., 1996. Variability in pesticide use as a factor in measuring and bringing about reduction in pesticide usage in apple orchards. *Agric. Ecosyst. Environ.* 59(1), 97-105.
- Reisch, E. M., Zeddies, J., 1992. Einführung in die landwirtschaftliche Betriebslehre. Spezieller Teil. 3.Ed. Ulmer, Stuttgart.
- Reitz, S. R., Kund, G. S., Carson, W. G., Phillips, P. A., Trumble, J. T., 1999. Economics of reducing insecticide use on celery through low-input pest management strategies. *Agric. Ecosyst. Environ.* 73(3), 185-197.
- Röhrig, M., Sander, R., 2006. Knowledge transfer with the Information System for Integrated Plant Production (ISIP). *Mitt. Biolog. Bundesanst.* 400, 476, (German).
- Roßberg, D., 2002. Neptun 2000 - Survey into application of chemical pesticides in agricultural practice in Germany. Saphir-Verlag, Ribbesbüttel, (German, Engl. summary).
- Sattler, C., Kächele, H., Verch, G., 2007. Assessing the intensity of pesticide use in agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 119(3), 299-304.
- Shtienberg, D., 2000. Modelling: the basis for rational disease management. *Crop Prot.* 19(8-10), 747-752.
- Steinmann, H., 2003. Integrated arable farming systems in experiment and practical experience - Results of the INTEX project and its demonstration fields. Mecke, Duderstadt, (German, Engl. summary).
- Steinmann, H., 2005. A long-term comparison of good agricultural practice and integrated farming - an approach in light of the aims of pesticide reduction. *Ber. Landwirtsch.* 83(3), 352-375, (German, Engl. summary).
- Sturz, A., Carter, M., Johnston, H., 1997. A review of plant disease, pathogen interactions and microbial antagonism under conservation tillage in temperate humid agriculture. *Soil Tillage Res.* 41(3-4), 169-190.
- Trumble, J., 1998. IPM: Overcoming conflicts in adoption. *Integr. Pest Manag. Rev.* 3(4), 195-207.
- Verch, G., Kächele, H., 2005. Possibilities and limits of an overall pesticide investigation - Application of the NEPTUN-project results by taking North-Brandenburg as an example. *Pflanzenbauwiss.* 9(2), 80-86. (German, Engl. summary).
- Vereijken, P., 1989. Experimental systems of integrated and organic wheat production. *Agric. Syst.* 30, 187-197.
- Verreet, J., 1995. Application of principles of integrated pest management. The Bavarian wheat model IPM system. PR-Werbeagentur-und-Verl., Aachen.

- Waldorf, N., Grimm, S., Schmid, W., 2003. Pflanzenbauliche und wirtschaftliche Auswirkungen verschiedener Verfahren der Bodenbearbeitung. Informationen für die Pflanzenproduktion, Sonderheft 1/2003.
- Waibel, H., Fleischner, G., Becker, H., 1999. The Economic Benefits of Pesticides: A Case Study from Germany. *Agrarwirtschaft* 48(6), 219-229.
- Webster, J., 1997. Assessing the economic consequences of sustainability in agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 64(2), 95-102.
- Wechselberger, P., Köbler, M., Heißenhuber, A., 1999. Economic and ecological evaluation of management measures and/or varying management systems. *Ber. Landwirtsch.* 77(2), 184-200, (German, Engl. summary).
- Wittrock, A., Verreet, J., 2000. Economical and ecological valuation of an integrated consulting system (IPM-Model Wheat) in practical agriculture in Schleswig-Holstein - Results and Acceptance. *Mitt. Biolog. Bundesanst.* 376, 325-326 (German, Engl. summary).
- Zentner, R., Lafond, G., Derksen, D., Campbell, C., 2002. Tillage method and crop diversification: effect on economic returns and riskiness of cropping systems in a Thin Black Chernozem of the Canadian Prairies. *Soil Tillage Res.* 67(1), 9-22.
- Zhang, X., Loyce, C., Meynard, J., Savary, S., 2006. Characterization of multiple disease systems and cultivar susceptibilities for the analysis of yield losses in winter wheat. *Crop Prot.* 25(9), 1013-1023.

3. Anwendungsmuster von Pflanzenschutzmitteln in Winterweizen und Winterraps

Jana Bürger & Bärbel Gerowitt (2009)
Gesunde Pflanzen 61, 11-17.

3.1. Zusammenfassung

Seit 2000 werden in Deutschland Anstrengungen unternommen, um einen Überblick über die tatsächlich stattfindenden Pflanzenschutzmittel-Anwendungen zu bekommen. Für den vorliegenden Artikel wurden Schlagkarteidaten von Betrieben in Mecklenburg-Vorpommern bezüglich der durchgeführten Pflanzenschutz-Maßnahmen in den Jahren 2000 bis 2004 ausgewertet. Die Ergebnisse werden für 97 Schläge mit Winterweizen und 68 Schläge mit Winterraps vorgestellt.

Die Pflanzenschutz-Intensität wird durch die Behandlungshäufigkeit, die Anzahl eingesetzter Präparate und den Behandlungsindex beschrieben. Häufigkeit und Zusammensetzung von Tankmischungen verschiedener Präparate und Pflanzenschutzmittel-Gruppen werden dargestellt. Darüber hinaus wird gezeigt, dass die Verwendung reduzierter Aufwandmengen zu einer geringeren Bekämpfungsintensität auf den Schlägen beigetragen hat.

3.2. Summary

Pesticide use patterns in winter wheat and oil seed rape in North East Germany

From the year 2000 on, different steps have been taken to study the real extent of pesticide use in Germany. For this paper, the data of farms in North East Germany were examined for the chemical plant protection measures carried out between 2000 and 2004. Results are presented for 97 winter wheat fields and 68 fields of oil seed rape.

Pesticide use intensity is described as frequency of use, number of pesticides used, and treatment frequency index. Number and composition of tank mixtures are given in detail. More over it can be shown that the use of reduced dosages contributes to a smaller overall pesticide use intensity.

3.3. Einleitung

Seit dem Jahr 2000 wurden diverse Anstrengungen unternommen, um einen Überblick über tatsächlich stattfindende Pflanzenschutz-Anwendungen in Deutschland zu erhalten. In verschiedenen Studien des NEPTUN-Projektes wurden von Betrieben in Landwirtschaft, Gartenbau und Obstanbau Informationen zu ihrem Pflanzenschutzmittel-Einsatz erhoben und Behandlungsindices berechnet. (Roßberg, 2007)

Der Behandlungsindex gibt an, wie viele Behandlungen auf einem Schlag oder in einer Kultur durchgeführt wurden, wobei reduzierte Aufwandmengen und Teilflächenbehandlungen vermindert angerechnet werden. Präparate in Tankmischungen werden jeweils als einzelne Behandlung betrachtet.

Parallel zu den empirischen NEPTUN-Erhebungen gab es einige fachliche Arbeiten, die den Indikator in der Anwendung für die Praxis und für wissenschaftliche Fragestellungen prüften. Es wurde klar, dass bei ausreichender Datenmenge aus den Erhebungen regionale Mittelwerte abgeleitet werden können. Aussagen zur notwendigen Behandlungsintensität auf einer Anbaufläche bedürfen jedoch einer kleinräumigen Bewertung und Einzelfallbetrachtung. (Verch et al., 2005) Aus dieser Erkenntnis wurde 2007 für den Ackerbau das Vergleichsbetriebsnetz zum Pflanzenschutz geschaffen, das nun jährlich eine Einordnung anhand von Praxis-Betrieben ermöglichen soll (Freier et al., 2008).

Im vorliegenden Artikel werden auf ähnliche Weise Daten von 33 landwirtschaftlichen Betrieben in Mecklenburg-Vorpommern aus den Erntejahren 2000 bis 2004 vorgestellt. Für die beiden Hauptfruchtarten Winterweizen und Winterraps wird die Pflanzenschutzintensität mittels verschiedener Kenngrößen analysiert. Darüber hinaus wird gezeigt, wie sich die Anwendung von Tankmischungen und reduzierten Aufwandmengen auf die Behandlungsintensität auswirkt.

3.4. Datengrundlage

Die Erhebung der Daten für die vorliegende Untersuchung erfolgte durch das Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern und die Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern. Die Betriebe (dargestellt in Abbildung 1) wirtschaften auf Flächen zwischen 350 und 3000 ha. Jeweils etwa zur Hälfte sind Marktfruchtbetriebe und Gemischtbetriebe vertreten.

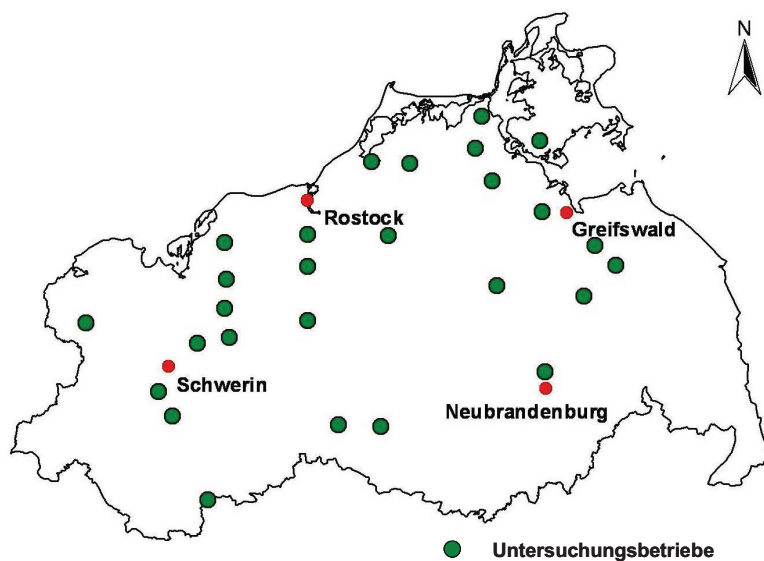


Abbildung 1: Lage der Untersuchungsbetriebe

In jedem Betrieb wurden ein bis drei Schläge mit für Mecklenburg-Vorpommern typischen Getreide- und Raps-Fruchtfolgen ausgewählt. Alle während der fünf Untersuchungsjahre in den beiden Kulturen Winterweizen und Winterraps durchgeführten PS-Maßnahmen wurden analysiert. Insgesamt standen 97 Datensätze im Winterweizen und 68 Datensätze im Winterraps für die Untersuchung zur Verfügung. Die Schlaggrößen betrugen zwischen 15 und 180 ha.

Der Behandlungsindex auf einem Schlag wird zunächst für jedes einzelne in der Saison verwendete Präparat berechnet und danach aufsummiert. Die Maßnahme erhält den Behandlungsindex 1, wenn sie mit voller zugelassener Aufwandmenge auf dem gesamten Schlag durchgeführt wurde. Der Behandlungsindex wird prozentual vermindert, wenn nur Teilflächen behandelt oder reduzierte Aufwandmengen eingesetzt wurden.

Entsprechend der Berechnung in der NEPTUN-Studie im Ackerbau gehen in den Behandlungsindex des Schlages die Präparate aus den Pflanzenschutzmittelgruppen der Fungizide, Herbizide, Insektizide und Wachstumsregulatoren ein. Beizen und Schneckenkorn werden nicht einbezogen. Im Winterraps wurden alle Präparate, die sowohl fungizide als auch wachstumsregulatorische Wirkungen besitzen, der Gruppe der Fungizide zugeordnet. Maßnahmen mit Totalherbiziden (Glyphosat) zwischen Ernte und Saat zählen zur Kultur im Folgejahr.

3.5. Bekämpfungsintensität

Die Pflanzenschutzintensität wird in Abbildung 2 und Abbildung 3 anhand von drei verschiedenen Kenngrößen detailliert für die einzelnen Erntejahre dargestellt:

BH - Behandlungshäufigkeit, d.h. wie oft im Laufe der Saison Pflanzenschutzmittel eingesetzt wurden. Für alle PSM zusammen betrachtet, entspricht die Zahl der Behandlungen der Anzahl der Überfahrten. Bei einer detaillierten Betrachtung, z.B. nach PSM-Gruppen, summieren sich unter Umständen die Behandlungshäufigkeiten der einzelnen Gruppen zu einer größeren Zahl auf, als Überfahrten durchgeführt wurden.

Präp - Anzahl eingesetzter Präparate, d.h. wie viele zugelassene Pflanzenschutzmittel eingesetzt wurden. Mehrmals eingesetzte Präparate zählen dabei so oft, wie sie eingesetzt wurden.

BI - Behandlungsindex.

Durchschnittlich wurden im Winterweizen fünf Behandlungen pro Saison durchgeführt, wobei elf verschiedene Präparate zur Anwendung kamen. Der Behandlungsindex betrug 5,3. Im Winterraps wurden im Mittel bei 5,5 Behandlungen pro Saison neun verschiedene Präparate eingesetzt und dabei ein Behandlungsindex von 5,4 erreicht. Fünf Prozent der Präparate wurden als Teilflächenbehandlungen ausgebracht. Darin sind Vorgewende- oder Randbehandlungen enthalten, sowie Behandlungen eines Schlages, die in mehreren Arbeitsabschnitten durchgeführt wurden.

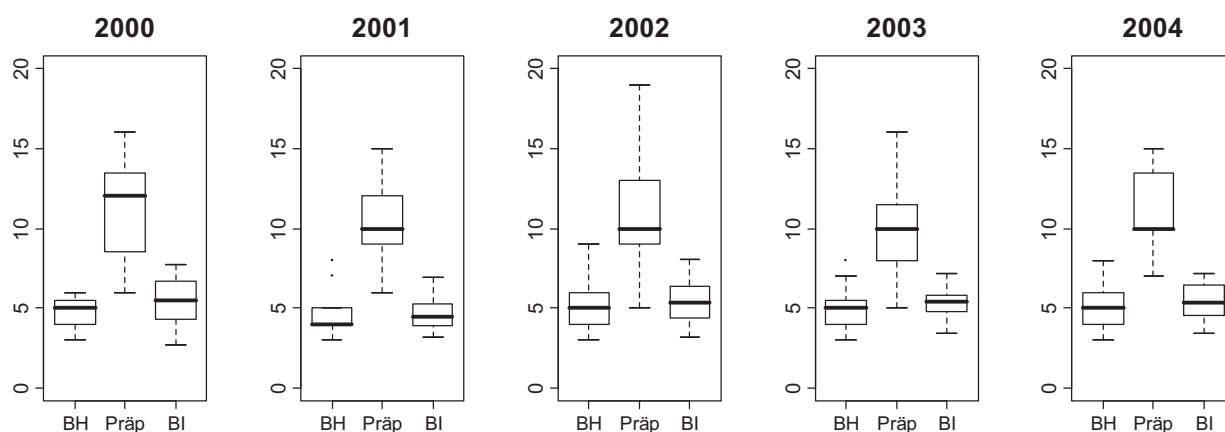


Abbildung 2: Pflanzenschutzintensität in Winterweizen (BH – Behandlungshäufigkeit, Präp – Anzahl der Präparate, BI - Behandlungsindex)

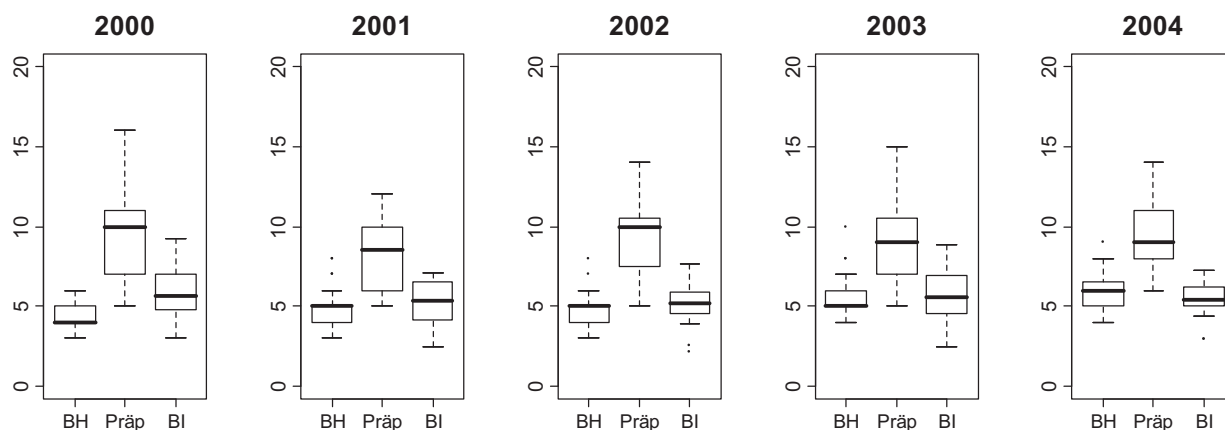


Abbildung 3: Pflanzenschutzintensität in Winterraps (BH – Behandlungshäufigkeit, Präp – Anzahl der Präparate, BI - Behandlungsindex)

3.6. Tankmischungen

Der Vergleich zwischen der Anzahl der Behandlungen und der Anzahl der Präparate in Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigt, dass in erheblichem Maße Tankmischungen zum Einsatz kommen. Tatsächlich erfolgte nur ein Drittel der Behandlungen im Weizen und die Hälfte der Behandlungen im Raps mit einem einzelnen Präparat (Tabellen 1 und 2). Bei den meisten anderen Behandlungen wurden Tankmischungen mit zwei bis vier Präparaten eingesetzt. In Einzelfällen wurden bis zu sieben Präparate gemischt. Tankmischungen innerhalb einer Pflanzenschutzmittelgruppe finden Anwendung, um verschiedene Wirkstoffe oder Wirkmechanismen zusammen einzusetzen. Darüber hinaus werden natürlich Behandlungen gegen unterschiedliche Schadorganismengruppen kombiniert, wenn es sich anbietet.

Tabelle 1: Anzahl von Präparaten und PSM-Gruppen in Tankmischungen im Winterweizen (angegeben ist der Anteil der Behandlungen mit entsprechender Tankmischung in % aller Behandlungen, Zeilen- oder Spaltensummen >100% entstehen durch Runden.)

Anzahl der PSM- Gruppen in Tankmischung	PSM-Gruppen	Anzahl der Präparate in Tankmischung							Gesamt	Gesamt
		1	2	3	4	5	6	7		
		Anteil der Behandlungen in %								
1	Fungizid	6	9	2	-	0,2	-	-	17	61
	Herbizid	17	10	2	-	-	-	-	29	
	Insektizid	2	-	-	-	-	-	-	2	
	Wachstumsregler	11	2	-	-	-	-	-	13	
2	Fungizid + Insektizid	-	1	6	3	0,4	-	-	10	33
	Fungizid + WR	-	3,5	6	4,5	1	-	-	15	
	Herbizid + WR	-	3,5	1	-	-	-	-	5	
	Fungizid + Herbizid	-	1	2	-	-	-	-	3	
	Herbizid + Insektizid	-	-	0,2	-	-	-	-	-	
3		-	-	1	3	1,5	1	0,6	7	7
4		-	-	-	-	0,2	-	-	-	-
Gesamt		36	30	20	10	3	1	1	-	-

Weizen

Etwa 30% der Behandlungen dienen allein der Unkrautbekämpfung, 17% nur der Krankheitsbekämpfung. In 13% der Behandlungen werden nur Wachstumsregler eingesetzt. Kombinationen aus Krankheitsbekämpfung mit Wachstumsregler-Einsatz erfolgen in 15 % der Behandlungen, Krankheitsbekämpfung mit Insektizid-Einsatz in 11% der Fälle. 75% der Fungizidbehandlungen und 40% der Herbizidbehandlungen werden in Kombination mehrerer Präparate ausgebracht.

Raps

Unkrautbekämpfung ist bei 31% der Behandlungen alleiniger Behandlungsgrund. Fungizide (mit ggf. wachstumsregulatorischer Wirkung) werden in 19% der Behandlungen allein eingesetzt und bei weiteren 37% der Behandlungen mit Herbiziden oder Insektiziden kombiniert angewendet. Fungizideinsätze erfolgen zu 78% mit einem einzelnen Präparat, Herbizideinsätze zu 80%.

Tabelle 2: Anzahl von Präparaten und PSM-Gruppen in Tankmischungen im Winterraps (angegeben ist der Anteil der Behandlungen mit entsprechender Tankmischung in % aller Behandlungen)

Anzahl der PSM- Gruppen in Tankmischung	PSM-Gruppen	Anzahl der Präparate in Tankmischung							Gesamt	Gesamt
		1	2	3	4	5	6	7		
		Anteil der Behandlungen in %								
1	Fungizid	16	3	-	-	-	-	-	19	60
	Herbizid	27	3	1	-	-	-	-	31	
	Insektizid	10	-	-	-	-	-	-	10	
	Wachstumsregler	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	Fungizid + Insektizid	-	19	6	-	-	-	-	25	34
	Fungizid + Herbizid	-	4	1	-	-	-	-	5	
	Fungizid + WR	-	1	-	-	-	-	-	1	
	Herbizid + Insektizid	-	3	-	-	-	-	-	3	
3	Fungizid + Herbizid + Insektizid	-	-	5	1	-	-	-	6	6
Gesamt		53	33	13	1	-	-	-	-	-

3.7. Aufwandmengen

Die Anwendung reduzierter Aufwandmengen gilt als Möglichkeit, die Behandlungsintensität im Ackerbau zu senken. Reduktionspotenziale gegenüber der vollen zugelassenen AWM können ausgenutzt werden, wenn

- Unkräuter in einem frühen Wachstumsstadium bekämpft werden,
- aufgrund günstiger Bedingungen Behandlungen zu einem spät(er)en Zeitpunkt durchgeführt werden,
- Präparate mit verschiedenen Wirkungsspektren kombiniert werden,
- Schadorganismen aufgrund von Wirkungsreserven der Präparate auch mit geringeren Mengen gut bekämpfbar sind.

(Schröder et al., 2004; Verschwele & Zwerger, 2006; Verreet, 1995; Verreet et al., 2000).

Eingesetzte Aufwandmengen

Die meisten Präparate wurden mit zum Teil erheblich reduzierten Aufwandmengen eingesetzt (Abbildung 4). Im Weizen kamen nur 10 % der Präparate in voller Aufwandmenge zum Einsatz. Bei zwei Drittel der Präparate, außer bei Insektiziden, wurde weniger als 50% der Zulassungsmenge angewendet. Im Raps wurden etwa 25% der Präparate mit voller AWM ausgebracht, drei Viertel der Fungizide und die Hälfte der Herbizide mit weniger als 50% der zugelassenen Aufwandmenge.

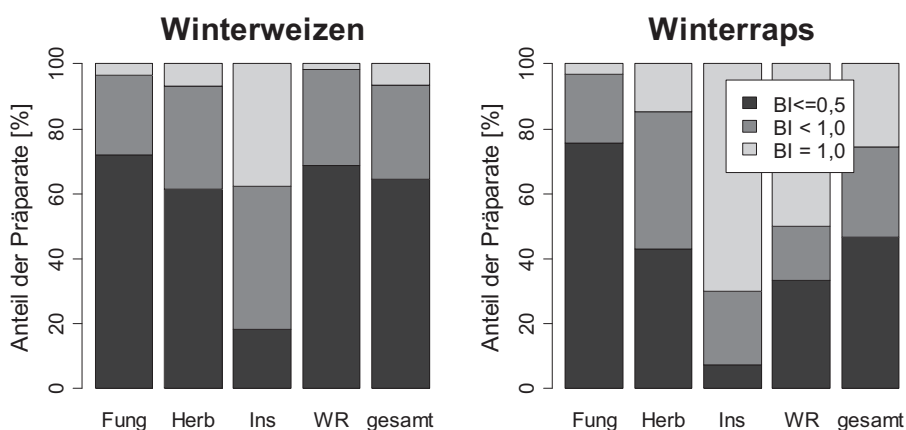


Abbildung 4: Aufwandmengen einzelner Präparate

Aufwandsmengen in Tankmischungen

Da ein Großteil der Präparate in Tankmischungen ausgebracht wird, wurden auch die Behandlungsindices für jeweils die gesamte Behandlung ermittelt.

Bei der kombinierten Anwendung von Präparaten können sich für diese Behandlung leicht Behandlungsindices wesentlich über 1 ergeben. Am Beispiel einiger im Handel angebotener Packs wird dies in Tabelle 3 aufgezeigt. Zum Vergleich sind in den beiden letzten Spalten der Tabelle die durchschnittlichen Behandlungsindices für die auf den untersuchten Schlägen verwendeten Packs eingetragen. Die tatsächlichen Aufwendungen bleiben deutlich unter den empfohlenen Mengen der Packs.

Tabelle 3: Beispiele für Behandlungsindices von Packs

Pack-Name	Empfohlene Aufwandsmengen						Tatsächliche Aufwandsmengen		
	I, kg/ ha		BI	I, kg/ha		BI	BI im Pack	Anzahl Fälle	Mittelwert BI im Pack
Juwel Forte Pack	Juwel Top	0,8	0,8	Fortress	0,2	0,4	1,20	22	0,78
Input Set Opera Star Pack	Proline	0,8	1	Impulse	0,8	0,53	1,53	8	0,87
Acanto Duo	Opera	0,75	0,43	Opus	0,5	0,5	0,93	2	0,65
Pronto PLUS	Acanto	0,6	0,6	Agent Bravo	0,6	0,6	1,20	12	0,95
Bravo-Pack	PLUS	1,5	1	500	1	0,45	1,45	7	0,81
Diadem Pack	Pico	0,125	1	Cadou	0,25	0,63	1,63	2	1,43
Laurel Pack	Lotus	0,2	0,8	Monitor	0,0125	0,5	1,30	1	1,3

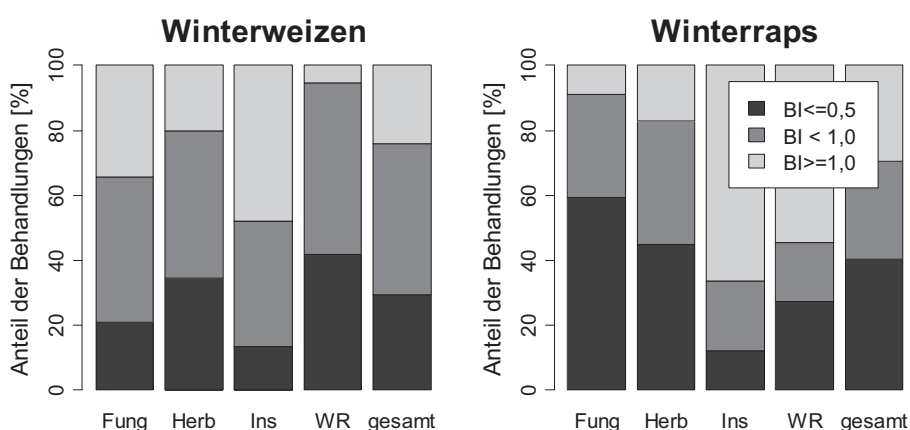


Abbildung 5: Behandlungsindices einzelner Behandlungen

Abbildung 5 gibt die Behandlungsindices für alle durchgeführten Behandlungen wieder. Etwa ein Viertel der Behandlungen erreichen Behandlungsindices von 1,0 und darüber. Dagegen erfolgen immerhin noch 30% der Behandlungen im Weizen und 40% der Behandlungen im Raps mit Behandlungsindices von unter 0,5.

Auswirkung der verwendeten Aufwandmengen auf den Behandlungsindex

Die Pflanzenschutzintensität wurde in den drei Aspekten der eingesetzten Präparatezahl, der Behandlungshäufigkeit und der verwendeten Aufwandmengen betrachtet. Wie aber hängen diese Größen zusammen? Lässt sich tatsächlich eine Verringerung der Bekämpfungsintensität auf dem Schlag erkennen, wenn reduzierte Aufwandmengen eingesetzt werden? Diesen beiden Fragen soll im letzten Abschnitt nachgegangen werden. Im Gegensatz zu einem Versuch mit geplanten Stufen der Intensität, musste in der vorliegenden Untersuchung bedacht werden, dass eine Reduzierung bei einer Behandlung nicht zwangsläufig mit geringer Bekämpfungsintensität bei den weiteren Behandlungen verbunden ist. Als geeignete Größe zur Beschreibung der Bekämpfungsintensität im Hinblick auf die beiden Fragen wird der Behandlungsindex verwendet, der die einzelnen Aspekte als aggregierte Kennzahl zusammenfasst.

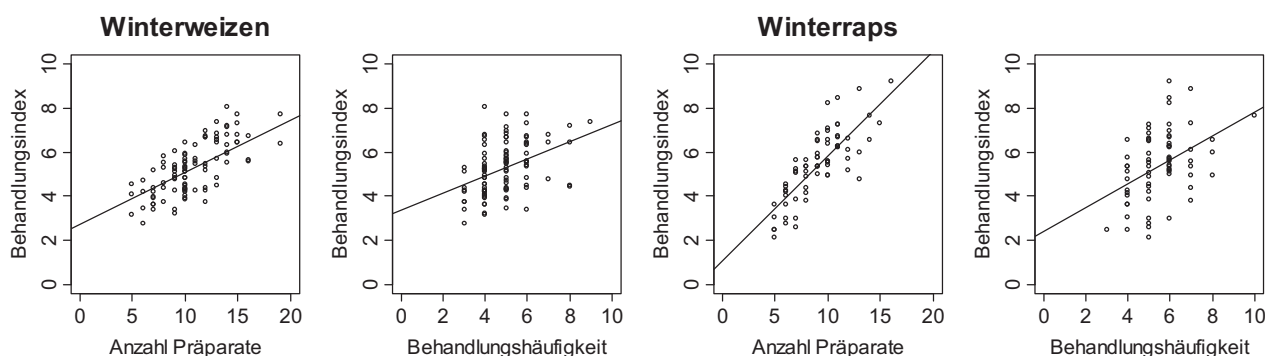


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Präparateanzahl, Behandlungshäufigkeit und Behandlungsindex

Abbildung 6 zeigt, wie steigende Anzahl der Präparate und steigende Behandlungshäufigkeit den Behandlungsindex erhöhen. Die Bestimmtheit der Beziehung zwischen Präparatezahl und Behandlungsindex ist über alle Präparategruppen zusammengekommen wesentlich größer als die Bestimmtheit der Beziehung zur Anzahl durchgeführter Behandlungen. In den einzelnen PSM-Gruppen sind beide Beziehungen ähnlich stark (Tabelle 4). Hier spiegelt sich, dass Behandlungen mit mehreren Indikationen in der Gesamtbetrachtung nur als eine Behandlung erscheinen.

Tabelle 4: Zusammenhang zwischen Präparateanzahl, Behandlungshäufigkeit und Behandlungsindex

		Anzahl der Präparate		Behandlungshäufigkeit	
		Modell	R ²	Modell	R ²
Weizen	alle PSM-Gruppen zusammen	BI= 2,3 + 0,3 * Präp	0,50	BI= 3,3 + 0,4 * BH	0,19
	Fungizide	BI= 0,9 + 0,3 * Präp	0,38	BI= 1,0 + 0,4 * BH	0,28
	Herbizide	BI= 0,6 + 0,3 * Präp	0,35	BI= 0,6 + 0,4 * BH	0,42
Raps	alle PSM-Gruppen zusammen	BI= 1,4 + 0,4 * Präp	0,58	BI= 2,8 + 0,5 * BH	0,16
	Fungizide	BI= 0,6 + 0,3 * Präp	0,42	BI= 0,6 + 0,4 * BH	0,40
	Herbizide	BI= 0,5 + 0,3 * Präp	0,56	BI= 0,7 + 0,3 * BH	0,34

Der Behandlungsindex kann also gesenkt werden, indem man seltener behandelt, weniger Präparate einsetzt oder geringere Aufwandmengen verwendet. Verringerte Aufwandmengen können sich aber nur auswirken, wenn dafür nicht zum Ausgleich öfter behandelt wird oder mehrere Präparate eingesetzt werden. In der statistischen Analyse wiesen die Aufwandmengen einzelner Präparate oder

einzelner Behandlungen keinen Zusammenhang zur Anzahl der Präparate oder der Behandlungen auf. Die Beziehungen zwischen Aufwandmenge und Präparatezahl sowie zwischen Aufwandmenge und Behandlungshäufigkeit wiesen fast sämtlich R^2 im Bereich zwischen 0 und 0,09 auf. Diese geringen Bestimmtheitsmaße zeigen, dass kein Zusammenhang besteht und geringe Aufwandmengen nicht durch vermehrte Behandlungen ersetzt wurden.

In den vorliegenden Daten konnte damit gezeigt werden, dass in den untersuchten Betrieben die Anwendung von Präparaten mit reduzierten Aufwandmengen tatsächlich zu einer geringeren Pflanzenschutzintensität auf dem Schlag geführt hat.

3.8. Danksagung

Die Autorinnen danken den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen des Landesamtes für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern und der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern für die Erhebung der Daten sowie der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die Förderung der Forschungsarbeit im Rahmen ihres Stipendienprogramms.

3.9. Literatur

Freier, B.; Pallutt, B.; Jahn, M.; Günter, A.; Zornbach, W.; Schlage, B.; Gutsche, V.; Sellmann, J.; Volkmar, J.: Netz Vergleichsbetriebe – Erste Ergebnisse des Startjahres 2007. Mitteilungen aus dem Julius-Kühn-Institut 417: 327.

Roßberg, D. (2007): NEPTUN oder „Wie oft wird gespritzt?“. Gesunde Pflanzen 59 (2): 55-65.

Schröder, G.; Meinlschmidt, E. ; Papenfuß, J.; Malarski, O.; Gebhard, R. (2004): Windhalmbekämpfung im Frühjahr mit verminderten Aufwandmengen von Sulfonylharnstoffen. Gesunde Pflanzen 56 (7-8): 222-231.

Schröder, G.; Meinlschmidt, E. ; Bär, H.; Bergmann, E.; Pittdorf, I. (2007): Der gezielte Einsatz von reduzierten Aufwandmengen herbizider Tankmischungen in Mais. Gesunde Pflanzen 59 (3): 127-139.

Verch, G.; Kächele, H. (2005): Möglichkeiten und Grenzen einer flächendeckenden Pflanzenschutzmittelerhebung – Anwendung der Ergebnisse des NEPTUN-Projekts am Beispiel Nordbrandenburgs. Pflanzenbauwissenschaften 9 (2): 80-86.

Verschwele, A.; Zwerger, P. (2006): Auswertungen von Grenzaufwand-Versuchen in Bezug auf das notwendige Maß beim Herbizideinsatz. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XX: 675-682.

Verreet, J. A. (1995): Angewandte Grundlagen des integrierten Pflanzenschutzes : das IPS-Weizenmodell Bayern. PR-Werbeagentur-und-Verlag. Aachen.

Verreet, J. A.; Klink, H.; Hoffmann, G. M. (2000): Regional Monitoring for Disease Prediction and Optimization of Plant Protection Measures: The IPM Wheat Model. EPPO Bulletin 84 (8): 816-826.

4. Anwendungsmuster von Pflanzenschutzmitteln in Winterraps in einigen Betrieben des Referenzbetriebsnetzes der LFA MV von 2002 bis 2007

Jana Bürger & Bärbel Gerowitt (2010)

Mitteilungen der Landesforschungsanstalt Mecklenburg-Vorpommern 44, 43-50.

4.1. Einleitung

In einer Arbeit am Fachgebiet Phytomedizin der Universität Rostock wurden die chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen von ausgewählten Referenzbetrieben der Landesforschungsanstalt aus den Jahren 2002 bis 2007 ausgewertet. Ziel war es, die Variabilität der Pflanzenschutz-Intensität zwischen verschiedenen Erntejahren und verschiedenen Betrieben aufzuzeigen, sowie Quellen dieser Variabilität zu identifizieren.

Die durchschnittlichen Behandlungshäufigkeiten und Behandlungsindizes wurden berechnet und mit den Ergebnissen anderer bundesweiter Erhebungen zur Pflanzenschutz-Intensität verglichen. Außerdem eröffnete die Datenbasis die Möglichkeit, Anwendungsmuster und Behandlungsstrategien, d.h. die Abfolge einzelner eingesetzter Präparate und die verwendeten Aufwandmengen, zu analysieren. Zuletzt wurden die berechneten Behandlungsindizes in Verbindung mit den wechselnden äußeren Anbaubedingungen, sowie verschiedenen pflanzenbaulichen Maßnahmen betrachtet.

4.2. Daten

Grundlage der Auswertung bilden Schlagkarteidaten von sechs Referenzbetrieben der LFA. Es wurden Betriebe ausgewählt, von denen detaillierte Aufzeichnungen der Pflanzenschutzmaßnahmen möglichst vollständig für den Untersuchungszeitraum vorlagen. Zwei der Betriebe sind reine Marktfruchtbetriebe, die anderen vier Betriebe kombinieren Marktfruchtbau mit Rinder- bzw. Schweinehaltung. Tabelle 1 enthält weitere Angaben zu den Produktionsbedingungen der Betriebe. Jeweils drei Betriebe befinden sich in der Boden-Klima-Region 158 (bessere diluviale Böden in NW-Mecklenburg und an der Küste) und in der Boden-Klima-Region 101 (mittlere diluviale Böden im Landesinneren) (Roßberg et al. 2007).

Tabelle 1: Eigenschaften der untersuchten Referenzbetriebe

Betrieb	Betriebsart	BKR	Ackerfläche (ha)	Ackerzahl	Bodenbearbeitung
A	Gemischtbetrieb (Milch)	101	2000	29-44	pfluglos
B	Marktfrucht	101	1800	36-55	wechselnd
C	Gemischtbetrieb (Schweine)	101	1000	25-48	wechselnd
D	Gemischtbetrieb (Milch)	158	4100	30-68	wechselnd
E	Gemischtbetrieb (Milch)	158	2300	35-51	wechselnd
F	Marktfrucht	158	700	36-52	komplett pflügend

Die Auswertung der Pflanzenschutzmaßnahmen im Raps umfasste alle durchgeführten Behandlungen mit Fungiziden, Herbiziden, Insektiziden sowie den bis 2002 zugelassenen Wachstumsreglern. Nach einer Plausibilitätsprüfung wurden Behandlungshäufigkeiten und Behandlungsindizes berechnet. Alle Maßnahmen mit Präparaten, die sowohl fungizide wie wachstumsregulatorische Wirkungen besitzen, wurden in die Gruppe der Fungizide eingeordnet. Maßnahmen mit Totalherbiziden vor der Saat wurden ebenfalls zur Saison hinzugerechnet.

Für die Schläge wurden die Behandlungshäufigkeit und der Behandlungsindex ermittelt. Der Behandlungsindex gibt ebenfalls wieder, wie oft behandelt wird, berücksichtigt aber reduzierte Aufwandmengen und Teilflächenbehandlungen. Er macht damit verschiedene Behandlungsstrategien und Präparate vergleichbarer, und ist gleichzeitig eine konkretere Aussage zum PSM-Einsatz als z.B. der finanzielle Aufwand.

Der Behandlungsindex auf einem Schlag wird zunächst für jedes einzelne in der Saison verwendete Präparat berechnet und danach aufsummiert. Die Maßnahme erhält den Behandlungsindex 1, wenn sie mit voller zugelassener Aufwandmenge auf dem gesamten Schlag durchgeführt wurde. Es wird prozentual vermindert, wenn nur Teilflächen behandelt oder reduzierte Aufwandmengen eingesetzt wurden. Behandlungsindizes für die verschiedenen PSM-Gruppen sowie die Gesamtsaison werden durch Addition der Einzel-BIs ermittelt.

Die Plausibilitätsprüfung umfasste verwendete Mengen, Termine, Tankmischungen. Offensichtliche Eingabe-Fehler wurden korrigiert. Aufwandmengen, die die maximal zugelassene Menge bis zu 10% überschritten, wurden akzeptiert, mit der Annahme von Rundungsfehlern in den elektronischen Erfassungen. Alle Datensätze mit größeren und nicht aufzuklärenden Fehlern waren von der Analyse ausgeschlossen. Insgesamt standen danach Datensätze von 301 Rapsschlägen zur Verfügung. Die Zuordnung der Datensätze zu den Erntejahren und Betrieben ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Anzahl Schläge

Erntejahr	Betrieb						Gesamt
	A	B	C	D	E	F	
2002	8	7	6	12	6	8	47
2003	7	13	-	16	10	4	50
2004	10	7	7	14	10	3	51
2005	12	-	3	17	7	5	44
2006	13	3	5	13	10	4	48
2007	16	1	4	26	12	2	61
Gesamt	66	31	25	98	55	26	301

4.3. Witterung und Schaderregerauftreten

Niederschlag und Temperatur in der sind wichtige Einflussfaktoren der phytosanitären Situation und der daraus folgende Behandlungsentscheidungen. In der Abbildung 1 sind die Mittelwerte der beiden Größen für die Anbauperiode von September bis Mai der Erntejahre abgetragen. Es wurden die den Betrieben jeweils am nächsten gelegenen Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes in der gleichen BKR ausgewählt.

Die Jahre 2002 und 2007 fallen durch eine vergleichsweise hohe Monatsmitteltemperatur auf, die bei den meisten Betrieben mit sehr hohen Niederschlägen kombiniert ist. Nur der Betrieb E hatte 2002 geringere Niederschläge als in den anderen Jahren zu verzeichnen.

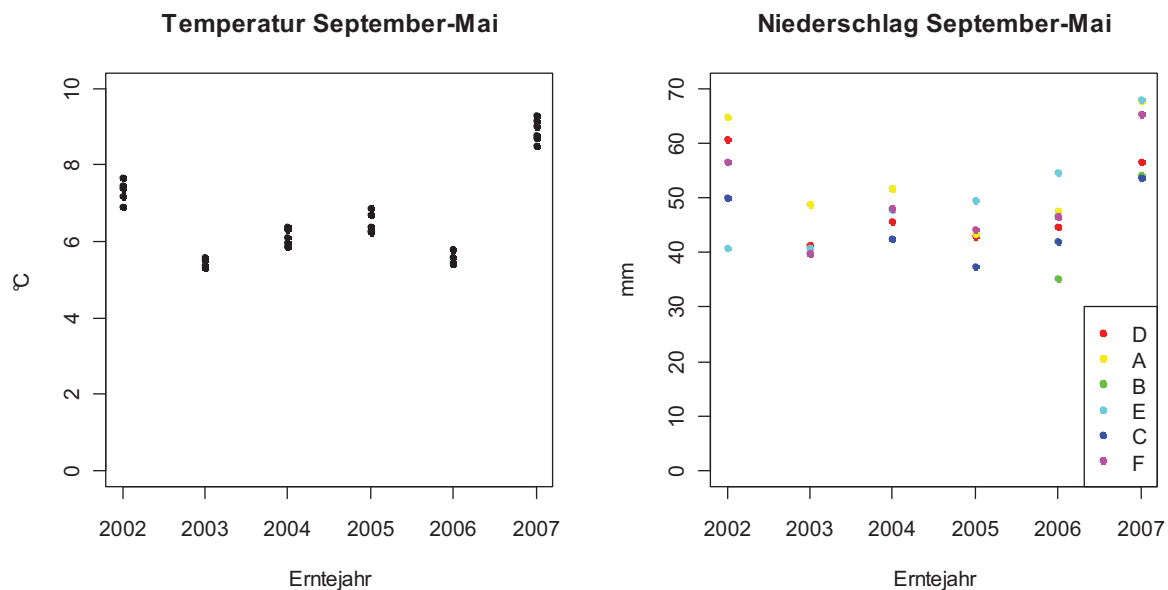


Abbildung 1: Temperatur und Niederschlag im Untersuchungszeitraum. Mittelwert (September bis Mai) der Monatsmittel der Temperatur bzw. Monatssumme des Niederschlags. Quelle der Daten: Deutscher Wetterdienst.

In phytosanitärer Hinsicht ergab sich dadurch in 2002 ein erhöhter Unkrautdruck im Herbst durch Kamille auf verschlammten Böden. In 2003, mit lang anhaltender Trockenheit und daraus resultierend lückigen Beständen gab es ebenfalls Schwierigkeiten mit Kamille. Die beiden feucht-warmen Jahre 2002 und 2007 waren auch von hohem Krankheits-Auftreten von *Phoma lingam* und *Sclerotinia* gekennzeichnet. 2002 traf dies besonders auf Frühsaaten zu, 2007 mahnte die Landesforschungsanstalt in ihrem Berichtsheft zu den Sortenversuchen auch ein Überdenken der Rapsbaukonzepte an. Tierische Schaderreger spielten nur im Erntejahr 2003 und im Erntejahr 2006 eine größere Rolle: Raupen der Kohlmotte erforderten im Herbst 2002 Behandlungen, Kohlschotenmücke im Herbst 2005, sowie resistente Rapsglanzkäfer im Frühjahr 2006. (Alle Einschätzungen wurden den Berichtsheften der LFA zu Sortenversuchen und den Empfehlungsbroschüren des Landespflanzenschutzdienstes (LPS, jetzt LLALF) entnommen.)

4.4. Behandlungsintensität

Die beschriebene phytosanitäre Situation spiegelt sich nur teilweise im Vergleich der Behandlungsintensitäten der beiden Boden-Klima-Regionen wieder (Tabelle 3). In den Erntejahren 2002 und 2003 wurde in der BKR 1 etwas häufiger mit Herbiziden behandelt, als in anderen Jahren. Ebenso sind die Jahre 2003 und 2007 durch häufigere Insektizid-Behandlungen gekennzeichnet. Auch die jeweiligen Behandlungsindizes sind entsprechend erhöht. Die Behandlungen mit Fungiziden dagegen entsprechen in Häufigkeit und BI wenig den als besonders pilzreichen Jahren beschrieben. Dies liegt sicherlich an der kombinierten Anwendung der Fungizide für Wachstumsreglung und Krankheitsbekämpfung.

Tabelle 3: Mittlere Behandlungsindizes und Behandlungshäufigkeiten der einzelnen PSM-Gruppen

	BKR	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Vergleichs- betriebsnetz 2007*
<i>Behandlungsindex</i>								
Fungizide	1	1,7	2,1	1,6	2,0	1,9	1,9	
	58	1,8	1,9	2,5	2,4	2,5	2,3	2,1+/-0,7
Herbizide	1	1,6	1,9	1,5	1,2	1,4	1,3	
	58	1,4	1,4	1,3	1,5	1,4	1,6	1,8 +/- 0,5
Insektizide	1	2,0	4,0	2,8	2,4	2,8	3,9	
	58	2,3	3,1	3,4	2,6	2,4	3,0	2,4+/- 1,0
Gesamt	Gesamt	5,5	7,0	6,5	6,1	6,2	7,0	6,3
<i>Behandlungshäufigkeit</i>								
Fungizide	1	4,0	4,1	4,0	3,9	3,7	3,5	
	58	3,3	3,4	4,2	4,0	4,4	4,2	
Herbizide	1	3,0	3,0	2,5	2,4	2,8	2,8	
	58	2,5	2,6	2,5	2,3	2,5	2,7	
Insektizide	1	3,0	4,5	3,3	2,9	3,3	4,0	
	58	2,4	3,7	3,4	2,8	2,6	3,0	
Gesamt	Gesamt	5,3	7,0	6,2	5,5	5,9	6,5	

(* Quelle der Vergleichswerte für 2007: Erhebung des JKI mit den Landespflanzenschutzdiensten. (Freier, 2008) Werte der Zone 1002, zusammen für BKR 101 und 158)

Die Tabelle 3 verdeutlicht, ähnlich wie das vorhergehende Untersuchungen (Bürger 2009, Günther 2005) zeigten, dass die Behandlungsintensität mit Fungiziden und Insektiziden hohen jährlichen Schwankungen unterliegt, während die Herbizide in den meisten Jahren auf einem sehr ähnlichen Niveau eingesetzt werden. Bedingt durch den wechselnd hohen Einsatz der verschiedenen PSM-Gruppen, schwankt die Gesamt-Behandlungsintensität sehr deutlich zwischen den Jahren. Im Untersuchungszeitraum wurden die Rapsschläge durchschnittlich 6 Mal mit Pflanzenschutzmitteln behandelt. Der Behandlungsindex betrug 6,4. Der Gesamt-BI stieg besonders stark bei hoher Anwendung von Insektiziden.

Für die einzelnen PSM-Gruppen liegt der BI jeweils deutlich unter der Anzahl der Behandlungen. Dies gibt einen ersten Hinweis darauf, dass sehr oft reduzierte Aufwandmengen eingesetzt werden. Durch die gleichzeitige Ausbringung verschiedener PSM-Gruppen am gleichen Termin ist die Gesamtanzahl von Überfahrten aber etwas geringer als der aufsummierte Gesamt-BI.

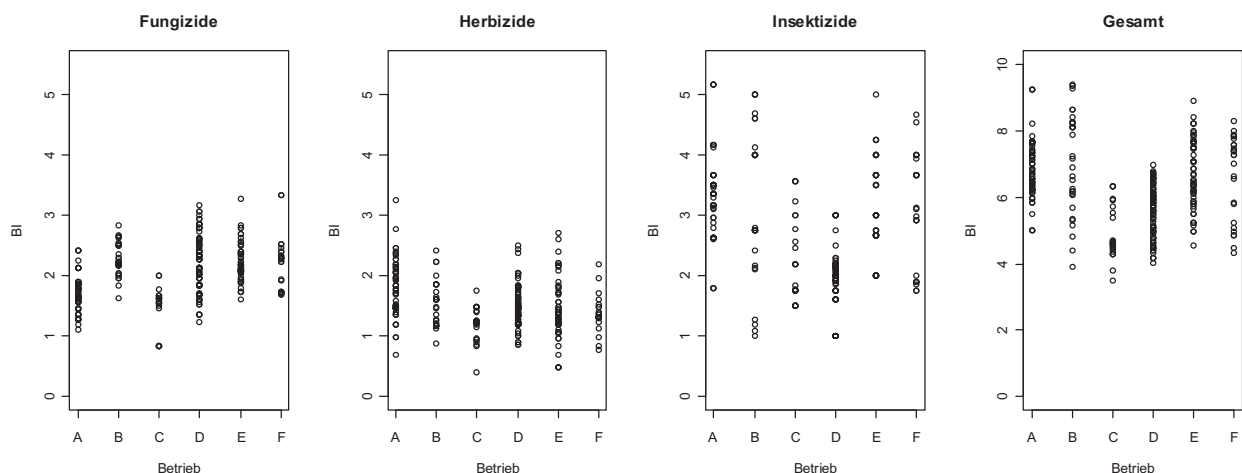
Tabelle 4: Tankmischungen (angegeben ist der prozentuale Anteil der Überfahrten mit entsprechender Tankmischung an allen ausgeführten Überfahrten)

Anzahl der PSM-Gruppen in Tankmischung		Anzahl der in Tankmischung ausgebrachten Präparate		
	PSM-Gruppen	1	2	3
Anteil der Behandlungen in %				
1	Fungizid	11	3	-
	Herbizid	17	9	-
	Insektizid	7	1	-
2	Fungizid+Herbizid	-	6	1
	Fungizid+Insektizid	-	26	4
	Herbizid+Insektizid	-	2	-
3	Fungizid+Herbizid+ Insektizid	-	-	5

Eine Übersicht, welche Schaderreger-Gruppen gleichzeitig behandelt werden, ist in Tabelle 4 enthalten. Der größte Anteil der Pflanzenschutzmaßnahmen in Raps (30%) entfällt demnach auf gleichzeitige Fungizid- und Insektizid-Ausbringung, die im Wesentlichen im Frühjahr stattfindet. Ein etwas kleinerer Anteil (von 26%) entfällt auf reine Unkrautbekämpfungen vor der Saat und vor dem Auflauf. Alleinige Fungizid-Anwendung (v.a. zur Wachstumsregulierung und Krankheitsbekämpfung vor dem Winter) erfolgt bei 14% der Überfahrten. Verglichen mit anderen Fruchtarten, werden im Raps relativ selten Tankmischungen aus verschiedenen Präparaten der gleichen PSM-Gruppe eingesetzt. Die Aufwandmengen der einzelnen Präparate wurde zum Teil sehr stark gegenüber der zugelassenen Aufwandmenge reduziert: durchschnittlich auf 47% für die Fungizide, auf 43% für die Herbizide und auf 86 % für die Insektizide.

Zuletzt soll in diesem Abschnitt noch mit Abbildung 2 der Unterschied zwischen einzelnen Betrieben beleuchtet werden. Deutlich zeigt sich schon hier, wie verschieden die Behandlungsstrategien und die „Behandlungsgewohnheiten“ in den Betrieben sind. Während Betrieb C mit durchweg niedriger Intensität behandelt, weist der Betrieb A die höchsten Herbizid- und Insektizid-Aufwendungen auf, hat aber relativ geringe Fungizid-Aufwendungen, vor allem bedingt durch seine Lage in BKR 101. Auffällig ist die hohe Variabilität der Insektizid-Aufwendungen in einigen Betrieben, während andere Betriebe sehr konstante Aufwendungen aufweisen, wie z.B. der Betrieb D auf relativ niedrigem Niveau.

Abbildung 2: Behandlungsindex in den Betrieben



4.5. Behandlungsstrategien

Durch die relativ kleine Palette an zur Verfügung stehenden Pflanzenschutzmitteln im Raps, gibt es auch nur eine beschränkte Anzahl von Behandlungskombinationen. Fungizid- und Herbizidstrategien ähneln sich im Aufbau bei allen Betrieben und werden in den Aufwandmengen angepasst. Im Gegensatz dazu zeigt sich bei den Insektiziden eine große Vielfalt an Behandlungsmustern, da die Mittel sehr variierend kombiniert werden. Anlass dazu gibt sicherlich die Resistenzproblematik, der durch ein Wechseln der Wirkstoffe begegnet werden soll. Die Tabellen 5 bis 10 geben für die drei PSM-Gruppen jeweils eine Übersicht, wieviele Behandlungen auf den Schlägen durchgeführt wurden, sowie welche Mittel mit welchen Aufwandmengen dabei Einsatz fanden.

Fungizide

Tabelle 5: Anzahl durchgeführter Fungizid-Behandlungen (% Schläge)

Erntejahr	Behandlungen Fungizide Herbst			Fungizide Frühjahr (ohne Blütenbehandlung)			Blüten- behandlung
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	
2002	100	13	0	100	43	2	98
2003	94	38	0	100	34	0	100
2004	100	69	0	100	69	0	88
2005	93	32	0	100	43	0	100
2006	100	35	4	100	38	19	100
2007	97	44	2	98	39	5	98
Gesamt	98	39	1	100	44	4	98

Tabelle 6: Häufigste Fungizid-Behandlungen in Winterraps (l/ha)

	Erntejahr					
	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<i>Herbst</i>						
Folicur	0,4-0,6	0,3-0,75	0,6-0,75	0,5-0,7	0,5-0,75	0,5
Folicur+ Folicur		0,4-0,7+ 0,2-0,6		0,2-0,7+ 0,3-0,6		
Caramba				0,75	0,5-0,8	0,4-0,8
Caramba+ Caramba			0,2-0,6+ 0,5-0,7			0,2-0,8+ 0,4-0,8
<i>Frühjahr</i>						
Caramba	0,75	0,75		1,2	0,95	0,75
Folicur	0,5	0,75	0,5/1,2	0,75	0,95	
Caramba+ Folicur	0,5+0,75		0,75+0,75	0,6+0,6		0,75+0,5
Cantus+ Harvesan				0,6+0,75		
<i>Blütenbehandlung</i>						
Konker R	1,35	0,95-1,35				
Cantus			0,2-0,5	0,2-0,5	0,5	0,5
Cantus + Harvesan				0,2+0,08	0,2+0,5	
Derosal flüssig + Proline					0,6+0,65	
Proline						0,6

Herbizide

Tabelle 7: Anzahl durchgeführter Herbizid-Behandlungen (% Schläge)

Erntejahr	Behandlung		Herbizid Herbst				Herbizid Frühjahr	
	Herbizid Vorsaaf/ Vorauslauf							
	1.	2.	1.	2.	3.	4.	1.	2.
2002	83	15	87	32	9	0	40	4
2003	66	6	94	74	6	0	22	0
2004	69	0	92	75	12	2	12	0
2005	86	2	95	43	2	0	0	0
2006	77	17	100	73	13	0	15	2
2007	97	16	89	66	30	2	25	0
Gesamt	80	10	93	61	13	1	19	1

Tabelle 8: Häufigste Behandlungen mit Herbiziden im Herbst (l/ha)

Vorsaaf/ Vorauslauf	Herbst- behandlung	Erntejahr					
		2002	2003	2004	2005	2006	2007
ohne	Butisan Top		0/ 2,0	0/ 1,8-2			
	Butisan Top			0/ 2+2,4			
	+ Nimbus						
	Butisan Top + Targa Super			0/ 1,5+0,3			
Brasan + Nimbus	Agil				0,7+2,0/ 0,4-0,75	0,7+2,0/ 0,45-0,6	0,7+2,0/ 0,45-0,7
	Butisan Top		1,25+1,25/ 2,0	1,25+1,25/ 2,0			
	Gallant Super	1,25+1,25/ 0,35					
Nimbus	Agil	2-2,5/ 0,4- 0,65					2,0/ 0,4
	Focus ultra + fusilade max		2,0-2,9/ 0,4-0,6+ 0,25-0,35	2,0/ 0,4+0,3			
	Focus ultra + Gallant				2,0/ 0,45+ 0,15		
	Gallant					2,0/ 0,3	

Insektizide

Tabelle 9: Anzahl durchgeführter Insektizid-Behandlungen (% Schläge)

Erntejahr	Insektizide Herbst		Insektizide Frühjahr			
	1.	2.	1.	2.	3.	4.
2002	34	11	100	94	28	2
2003	100	32	100	100	56	0
2004	59	20	100	86	55	0
2005	48	0	100	68	23	0
2006	50	6	100	100	35	0
2007	90	0	98	84	38	0
Gesamt	65	11	100	89	40	0

Tabelle 10: häufigste Insektizid-Kombinationen im Frühjahr

1.Behandlung	2.Behandlung	3.Behandlung	Anzahl
Fastac 10 EC	Fastac 10 EC		24
Biscaya	Biscaya		18
Reldan 22	Talstar_8_SC	Karate Zeon	16
Trafo WG	Fastac SC	Karate Zeon	16

4.6. Einfluss von Anbaumaßnahmen

Aus den Schlagkarteidaten der untersuchten Betriebe konnten auch Angaben zu den Anbaumaßnahmen wie Bodenbearbeitung, Saattermin, Sorte, Stickstoff-Düngung, Fruchtfolge entnommen werden. Zum Teil waren diese Angaben allerdings nur unvollständig vorhanden. Der Einfluss der Faktoren auf die Behandlungsintensität der einzelnen PSM-Gruppen wurde mittels gemischter linearer Modelle mit verschiedenen Zufallseffekten getestet. Als Zufallseffekte wurden Betrieb, Boden-Klima-Region, Erntejahr, oder auch Niederschlag und Temperatur einbezogen.

Die Behandlungsintensität auf den untersuchten Schlägen stand in engem Zusammenhang mit den äußeren Anbaubedingungen, wurde aber kaum durch pflanzenbauliche Maßnahmen beeinflusst. Der Fungizid-Einsatz war etwas höher in frühen Saaten. Bei drei Wochen Unterschied in der Saatzeit steigt der BI um 0,3. Das entspricht etwa 0,5 l/ha Folicur oder Caramba. Nicht-wendende Bodenbearbeitung führte zu höherem Herbizid-Einsatz. Die Erhöhung des BI um 0,2-0,3, entspricht einer Aufwandmenge von 0,6 bis 0,9 l/ha Brasan oder Nimbus. Der komplett pfluglose Betrieb A behandelte durchgehend etwa 1 Mal mehr pro Saison mit Herbiziden, mit BI um mindestens 0,2 bis 0,5 höher als alle anderen Betriebe.

4.7. Schlussbemerkung

Die seit einigen Jahren in Deutschland durchgeführten Erhebungen zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel und die Diskussion um eine Ableitung des notwendigen Maßes sind Teil der Bemühungen, die Risiken einzudämmen, die für Umwelt, Verbraucher und Landwirte mit dem Einsatz verbunden sind.

Die politischen Diskussionen sollten nicht überdecken, dass Auswertungen der Art, wie sie im vorliegenden Artikel beschrieben werden, auch einen Nutzen für Landwirte und Beratung haben können. Ähnlich wie die ökonomischen Auswertungen zu den Schlagkarteien der LFA-Referenzbetriebe, können die Ergebnisse als Vergleichsgröße für Landwirte dienen. Dabei ist der Behandlungsindex eine direktere Größe als der finanzielle Aufwand für Pflanzenschutz, die es ermöglicht, Besonderheiten in den Behandlungsstrategien einzelner Betriebe zu identifizieren und diese kritisch auf ihre Notwendigkeit zu prüfen.

4.8. Literatur

Bürger, J., Gerowitt, B., 2009. Anwendungsmuster von Pflanzenschutzmitteln in Winterweizen und Winterraps. *Gesunde Pflanzen*. 61, 11-17.

Freier, B., Pallutt, B., Jahn, M., Sellmann, J., Gutsche, V., Zornbach, W., 2008. Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2007. *Berichte aus dem Julius-Kühn-Institut* 144.

Günther, A., 2005. Analysen zur Intensität von Pflanzenschutzmittel-Anwendungen in Ackerbaubetrieben und erste Ansätze zur Beurteilung des notwendigen Maßes - Masterarbeit an der Humboldt-Universität Berlin, Berlin.

Roßberg, D., Michel, V., Graf, R., Neukampf, R., 2007. Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*. 59, 155-161.

5. Influence of cropping system factors on pesticide use intensity – a multivariate analysis of on-farm data in North-East Germany

Jana Bürger, Friederike de Mol & Bärbel Gerowitt
European Journal of Agronomy (in review).

5.1. Abstract

We analysed pesticide use data of 539 winter wheat fields grown on seven commercial farms in North Eastern Germany in the seasons 2001 to 2007. The data were originally collected as part of economic analysis. The aim of our study was to show the impact of agronomic measures typical for Integrated Pest Management (IPM) on pesticide use intensity.

We used multivariate methods including hierarchical clustering and unconstrained ordination to describe variability of pesticide use and to identify pesticide use patterns. 166 fields had a complete record of eight crop management variables characterising rotation, tillage, cultivar, seeding time and N fertilisation. We subjected pesticide data of these fields to an ordination constrained by crop management data and considered weather and farm characteristics as co-variables influencing the pesticide use intensity.

Crop management had a measurable effect even beyond the single farm and changing weather conditions: it accounted for 11% of the explained variability of pesticide use. Pesticide intensity is adjusted by farmers to overall cropping intensity. Fields which were managed with typical IPM characteristics like late seeding and resistant cultivars were treated with a lower pesticide intensity. The downside of our findings is that these lower input CM systems are typically used only on less productive sites.

Variability of pesticide use was mainly influenced by the farm, accounting for 37% of explainable variance. We discuss two components of this high explanatory power: I) farm characteristics which determine overall cropping intensity and II) the routine of treatment decisions on the farm.

We discuss the implications of our results regarding robust study design and sampling for pesticide use monitoring. To enhance IPM adoption in the context of recent European pesticide regulations, we identify the need for: I) economic studies of integrating agronomic measures and reducing pesticide use, II) a discussion on incentives for IPM use and III) identification of innovative farmers for possible farmer to farmer exchange on successful adoption.

5.2. Introduction

Integrated Pest Management (IPM) at its different levels integrates an increasing number of pests and alternative methods to chemical treatments into a system of considerations to prevent yield losses in crops efficiently and sustainably. Pest here is used as an umbrella term for fungal diseases, weed and insect pests.

The main components of IPM in use in arable cropping today are: monitoring of pest occurrence, treatment decision after reaching thresholds, choice of appropriate pesticide and treatment time. The highest potential for reduction of pesticide use and pesticide dependency lies in non chemical methods, for example agronomic measures to establish healthy and competitive crops.

Diverse models have been developed by researchers with the aim to understand and predict pest population dynamics, forecast possible damage and yield loss, and support farmers' decision on effective and sound treatments (Verreet et al., 2000, Brooks et al., 2001, Larsson, 2005, Savary et al., 2006, Holst et al., 2007, Been et al., 2009). Some of them can also be used to analyse possible

effects of changing existing plant protection strategies towards more integrated pest management, for example by considering changes in crop management (CM) (Colbach et al., 1999, Willocquet et al., 2008).

While these models and decision support systems, after a period of performance evaluation, may be well used by researchers, extension workers, advisors and farmers, we know little about the effect of IPM use and CM changes on real farms. Little research is done to compare levels of overall pest incidence, pesticide use intensity and economical success of farmers applying different crop management. Even system level experiments can only give a limited impression of what effects we can expect on commercial “real world” farms. The results of these studies do indicate a smaller necessity of chemical treatment in integrated cropping systems (Bürger et al., 2008).

For a decade, efforts have been made in Germany to get insight into pest use intensity on commercial farms (Roßberg, 2007). Monitoring pesticide use is also part of the European Framework on Sustainable Use of Pesticides and the National Action Plan for Germany with the aim to reflect development of risk associated with chemical pest control (Anonymous, 2008, Anonymous, 2009a). In 2000 and 2007, data was collected on pesticide use in the ten most important arable crops all over Germany. This monitoring started with the NEPTUN 2000 project (Roßberg, 2002). Since 2007, a reference farm network has been established which will provide data each year (Freier et al., 2008). Upon this basis, regional means and standard deviations are calculated which can serve as a comparison for farmers to evaluate their own pesticide use.

In this paper we analyse pesticide use data of winter wheat grown on commercial farms in North East Germany. Our major research task is to investigate if pesticide use intensity can be related to the crop management on the farms. Does the use of preventive measures decrease the use intensity of pesticides as IPM research suggests?

We analysed the relationship between CM and pesticide use with multivariate methods. Unlike experimental designs with a limited number of treatments that depict defined levels of a gradient, there are numerous combinations of crop husbandry measures possible on-farm. Moreover, there is a much greater variety of pesticide treatments than for example in a trial experiment of extension services.

The multivariate approach also allows us to account for the multidimensional nature of decisions in IPM. As an example: Choosing a cultivar resistant to a potential pathogen may decrease the need for fungicides. Until now, yield potential of these cultivars does not reach up to non-resistant cultivars (Brown, 2002). Therefore, economic thresholds may change for the other pesticide groups as well. Another example for the multidimensionality of CM is tillage: Zero or low-tillage systems are usually associated with higher herbicide use, but may increase the necessity of fungicide use only in combination with certain preceding crops (Colbach et al., 1997, Riley et al., 2005, Koch et al., 2006).

The aim of our analysis is to show the possible impact of agronomic measures on overall pesticide intensity. Our paper comprises of the following steps: First, we will present variability in pesticide use intensity and pesticide patterns. Then, we associate this variability to CM factors, accounting for two other main influencing complexes on pesticide use, weather and farm characteristics, as co-variables. The relation of patterns to CM factors is analysed by Redundancy Analysis. Last, we discuss the possible reasons for our findings and deduct research needs implicated by the results.

5.3. Data

Our study was conducted on pesticide use data of 539 winter wheat crops cultivated between 2001 and 2007. The seasons started with seeding in autumn of the previous year. Data was collected from seven commercial farms in the North East of Germany by the State Research Institution for Agriculture and Fisheries Mecklenburg-Vorpommern as part of economic analysis.

Farm characteristics

Production structure of commercial agriculture in the study region is characterised by the former historical development of large cooperative farms. Thirty percent of farms cultivate seventy percent of the agricultural land with a mean farm area of 600 ha (Anonymous, 2009b). Arable farms have a mean area of 600 ha, animal farms a mean of 300 ha. Furthermore a number of combined farms exist with a mean farm area of 1800 ha. Table 1 gives some information on the studied farms. The column named "Region" refers to regions of agricultural production defined by Roßberg et al. (2007) which are also used as reference regions in pesticide use monitoring.

Table 1: Farm characteristics (Region: 158- Northwestern Mecklenburg and coastal areas with better diluvial soils, 101- areas of average soil quality in the off coast areas of Mecklenburg-Vorpommern. Arable soil quality index: official German rating index of soil quality for arable production, points out of 100, values are mean +/- standard deviation (sd). Yield: Mean wheat yield in the seasons 2001 to 2007.)

Farm	Farm type	Arable area [ha]	Region	Arable soil quality index	Yield [t/ha]
A	combined with dairy	4100	158	55 +/- 3	8.3 +/- 1.0
B	combined with dairy	2000	101	36 +/- 3	6.4 +/- 1.1
C	arable	1800	101	46 +/- 6	7.3 +/- 1.2
D	combined with dairy	2300	158	46 +/- 4	8.4 +/- 1.1
E	combined with pigs	1000	101	43 +/- 4	6.5 +/- 1.7
F	dairy	650	101	50 +/- 3	7.7 +/- 1.2
G	arable	700	158	48 +/- 5	8.5 +/- 0.8

Data on pesticide use

Pesticide use was recorded by farmers as a list of the following information: name of pesticide, date of treatment, dosage used, area of field treated. This included all treatments with fungicides, herbicides, insecticides and growth regulators. Data were evaluated for correctness. Obvious errors, like wrong setting of decimal point leading to a 10 times label dose, were corrected. In cases where an obviously wrong figure could not be retraced, the whole field was excluded from our analysis.

We use the Standardized Treatment Index (STI) as measure of pesticide use intensity. It gives the number of treatments in a season, standardizing the used dosage in respect to maximum approved dosage and the treated area in respect to size of cropping area. The index increases with increasing number of treatments, but can be lowered with adjusted dosage or partial treatments. For a more detailed description of the Standardized Treatment Index see Sattler et al. (2007).

We apply STI at field level. At first, STI for every single pesticide treatment is calculated. Thereafter, single values are summed up for the different aggregation levels. We present results for the single treatment (treatment STI = sum of all products of one group applied at the same date), for the pesticide group (group STI = sum of all treatment STIs in the season) or the overall pesticide use (overall STI = sum of all group STIs).

The NEPTUN project (Roßberg, 2002) determined the mean overall STI in the study region at 4.7 \pm 1.4 (sd) in the relatively dry year of 2000. The sample from the Reference Farm Network in 2007, a season with a warm winter and high rainfall, had a mean STI of 6.7 \pm 1.5 (sd) (Freier et al., 2008).

Data on crop management

We analysed all obtainable information on crop management of the fields. This included preceding crops, tillage, seeding time, cultivar, nitrogen fertilization. Data on cultivar susceptibility for diseases was taken from the ratings of the Federal Authority on Plant Varieties' description list (Bundessortenamt, 2006). Unfortunately, only 166 datasets from four farms are registered with complete data on all crop management factors. However, farms were anonymous to us - thus, no extra collection of data could be done.

Table 2: Crop management factors in the 166 complete data records (values are mean \pm standard deviation, for description of variables see text)

Farm	Cereals in rotation [%]	Tillage	Seeding date [day of year]	Cultivar Susceptibility against Powdery Mildew [% of studied fields of farm]			N-Fertilisation [kg/ha]
				1	2	3	
A	70 \pm 16	changing, plough always before stubble wheat	269 \pm 16	41	34	25	238 \pm 24
B	58 \pm 9	no plough	263 \pm 16	77	23	-	212 \pm 19
C	70 \pm 5	changing	260 \pm 7	100	-	-	261 \pm 32
G	68 \pm 8	plough always	265 \pm 9	79	21	-	231 \pm 5

Altogether we included eight management variables in the analysis. Three variables depicted main components of the rotation relevant for pest management in wheat. These were 'Stubble Wheat' (taking 1 for wheat and 0 for any other preceding crop), 'Cereals in rotation' (as % of crops in the rotation cycle of 3 to 5 years) and 'Spring crop in rotation' (0 for no and 1 for at least one spring sown crop). The variable 'Tillage' distinguished between tillage with (1) and without (0) ploughing. 'Seeding date' was included as day of the year (taking values between 246 and 309). The cultivar characteristics were represented by three classes for 'Susceptibility to Powdery Mildew' and 'Disposition for Lodging': 1 - low (rating scores 1 to 3), 2 - medium (rating 4 to 6) and 3 - high (rating 7 to 9). The susceptibility to *Septoria* ssp. was not included in the analysis as all cultivars had rating scores between 4 and 6, representing only the 'medium' class. 'Nitrogen fertilisation' is the rate of mineral and organic nitrogen applied.

Environmental data

As additional factors affecting pest incidence on the fields, we considered environmental factors like weather and general disease pressure in the region. Weather data was obtained from German Weather Service (DWD). Rain and temperature of the weather station nearest to the single farms was summarized for the main months of the season with connection to chemical plant protection activities, September to May. Mean Temperature varied around 6.0 °C. Mean monthly precipitation averaged around 45 to 50 mm. Exceptional years were 2002 with a temperature around 7.3°C and precipitation of 60 mm, and 2007 with 9.0°C and 65mm respectively.

Regional monitoring data on occurrence of fungal diseases did not prove to have any additional explanatory power. We tested the incidence values of the two major wheat pathogens *Septoria* sp. and Powdery mildew assessed at the end of the season on cultivar trial sites of the State Research Institution for Agriculture and Fisheries Mecklenburg-Vorpommern (Pienz et al., 2005). Pathogen occurrence was highly correlated with rain and temperature values, and therefore redundant for our analysis.

Further possible explanatory factors for pest occurrence we did not include in our analysis were soil type and regional cropping density of wheat. Soil types were not available to us on the field level. Density of wheat and cereal crops we consider evenly distributed in the study region. Therefore, it would not serve as an explanatory variable.

5.4. Analysis

Pesticide use variability and patterns

First we calculated simple descriptive statistics of the complete dataset with 539 records for comparison of pesticide use intensity between the single farms and seasons. Then we used hierarchical clustering of the pesticide group STI values with Euclidean distance measure and a Ward criterion to separate groups of fields with similar treatment patterns. Number of clusters was chosen by highest mean silhouette width of the clusters following Rousseeuw (1987) and by visual evaluation of the separation when plotting clusters onto an ordination graph of a Principal Components Analysis (PCA) as suggested by Legendre et al. (2003). Clusters were ordered and named by the rank of their mean overall STI. Significance of differences between groups in overall STI was tested by a Wilcoxon-test, with Bonferroni-Holm Correction of p-values for multiple testing at a significance level of $p < 0.05$.

Effect of crop management factors on pesticide use

All analysis of crop management effects was performed on the group STI values of the 166 fields with a complete CM factor record. We used hierarchical variance partitioning by means of partial RDA in order to quantify the effect of crop management on pesticide use relative to the other two factor sets 'Farm' and 'Weather' (Borcard et al., 1992, Legendre et al., 2003). Computing marginal and conditional effects of the three factor sets allowed us to separate contributions of each single set for explaining the variability in the data. Two partitionings were performed, one representing the farm by 'Farm name' and by a combination of 'Farm type' and 'Arable soil quality index' in the second run.

To analyse influence of the single CM factors, they were entered into a constrained ordination (Redundancy Analysis - RDA) with 'Farm' and 'Weather' included as co-variables. Main influencing parameters were chosen by backward selection. Significance of factors and axes was tested by permutation tests.

Software

All analysis was done using R (R Development Core Team, 2004), especially the packages *vegan* (Oksanen et al., 2008, version 1.15) and *cluster* (Maechler et al., 2005, version 1.11.11).

5.5. Results

Pesticide use intensity: overall STI

Pesticide use differed substantially between the studied farms and seasons (Figure 1). Farms A and G used increasing amounts of pesticides, whereas the other farms kept the treatment level constant over the study period. Farms E and F show a very low level of pesticide use. No single season was connected with especially high or low overall pesticide use. Nevertheless, overall STI was significantly smaller in the first three years of the study period compared to the later four years.

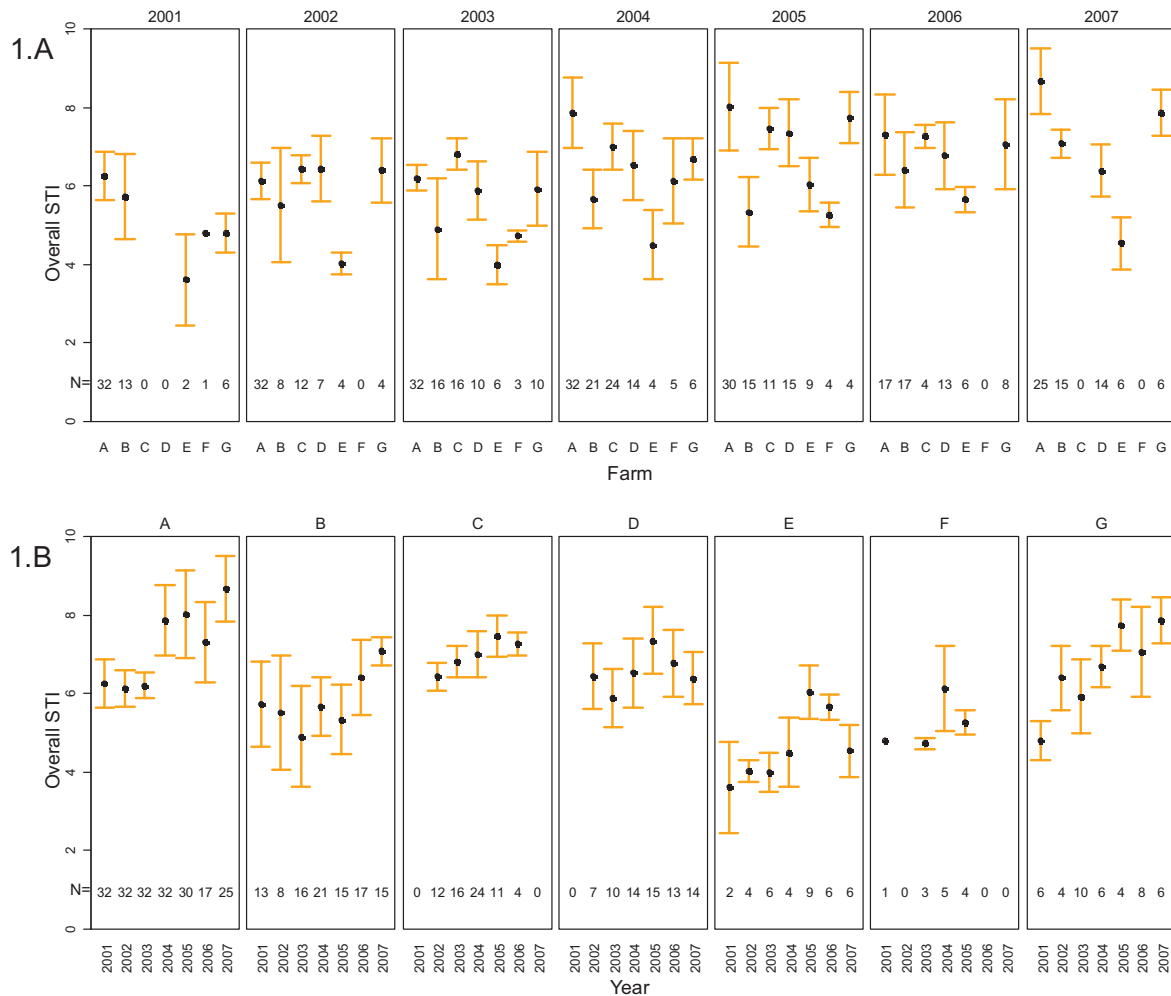


Figure 1: Pesticide use variability between farms and seasons. Values are means and 95% CI. Empty cells were caused by 1) errors in the raw data, 2) no data at all for a specific year

Clustering by group use STI

Clustering revealed 10 groups of similar pesticide use as shown in Figure 2. The relatively high number of clusters allowed both the separation of groups of field plots along the whole length of the STI gradient and the identification of group STI patterns. Letters indicate significantly different group means at a p-level of 0.05. Two clusters of low pesticide intensity (mean STI 4.5 and 4.7) are well separated from a group of clusters with medium intensity between 6.0 and 7.5. Cluster 9 spots a high STI of 8.15, and cluster 10 is the highest intensity group with an STI value well over 9.0.

Clusters with a similar overall intensity show quite differing use patterns. Figure 2.B gives mean proportion of the single groups in overall pesticide use. Eyecatching is the similarity of patterns between different clusters. In the pairs of clusters as given by the Wilcoxon test, one has a pattern of

similar herbicide and fungicide proportions of 25 - 40% (No. 1, 4, 6) and the other one (No. 2, 3, 5, 7, 8) has a strong weight towards fungicide (herbicide 20%, fungicide 40-50%). Cluster 9 is dominated by the high fungicide and exceptionally low insecticide use. Growth regulator accounts for 12 to 20% of overall use.

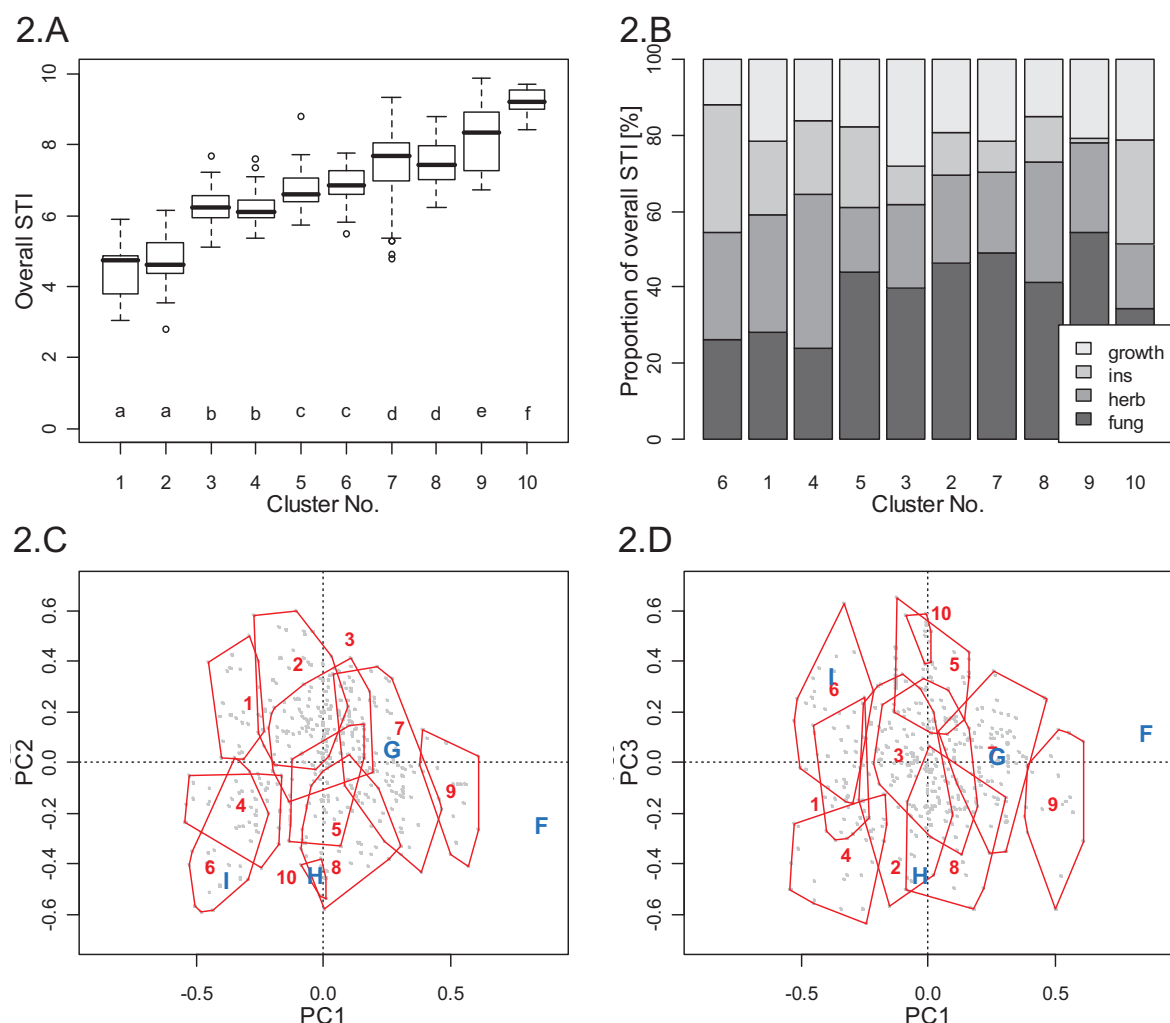


Figure 2: Variability of pesticide use in clusters A. Mean STI of clusters (N total = 539). Different letters show significant differences in mean STI tested by Wilcoxon-test, adj. p-values by Bonferroni-Holmes procedure, $p < 0.05$. B. Mean pesticide group STI of clusters. Order of clusters according to pesticide group patterns. C & D. Principal Components Analysis. Dots show the fields. Capital letters show loadings for pesticide groups: F – fungicides, H – herbicides, I – insecticides, G – growth regulators.

Results of Principal Components Analysis are displayed in Figure 2.C and D. Principal Axis 1 which accounts for 50 % of the variability in group values is associated mainly with the fungicide STI. Axis 2 takes 24% of the variability, while axis 3 accounts for 17%. Both are associated with herbicide and insecticide STIs.

High overall intensity is associated with very high values in at least one of the pesticide groups, but mostly another one of the groups is used with low levels. The highest four clusters all have high fungicide STI values, and also high growth regulator values. In clusters No. 8 and 9 this is combined with fairly high herbicide, in cluster No.10 with the highest insecticide use.

Plots with the highest value of a single group do not necessarily fall into high overall STI clusters. A very high STI value for herbicides is also represented in clusters No. 4 and 6. Cluster No. 6 has also a very high insecticide value.

Treatment schemes

There is a distinct difference in the variety of treatments which are used on the farms. Some farms seem to have an identical standard spraying program used on all fields, others treat each field differently. All fields on all farms were sprayed with a minimum treatment program comprising of two fungicide treatments, one herbicide treatment pre-seeding or in autumn, and one growth regulator treatment. Specialised treatments against early mildew and take-all were used only rarely or by single farms. A first insecticide treatment was widely used, a second insecticide treatment occurred usually only in special cases. The highest insecticide scores in cluster 10 were caused by a second treatment on farm A in 2007. As a singularity, farm B stands out where a second insecticide treatment was sprayed regularly, and a third insecticide was used additionally in 2007.

Apart from the treatments used, farms follow varying treatment schemes. For example, for the relatively large farm A, we can derive a scheme regarding fungicide amounts, herbicide combinations of pre-emergence and spring treatment and also splitting of growth regulator for each season which is then amended only in some details for single fields. Contrary to this, farm F treated fields in differing ways even in the same season.

Relative importance of crop management

Before further analysing the connection between pesticide use intensity of clusters, and crop management parameters, we tested how variance in the patterns can be linked to 3 sets of parameters by hierarchical variance partitioning.

Table 3: Relative importance of factor sets in explaining pesticide use

Partition		CM & Farm name & Weather		CM & Farm type & Soil quality & Weather	
		gross effect [%]	net effect [%]	gross effect [%]	net effect [%]
a	CM	23	11	23	9
b	Farm				
	name	50	37		
	characteristics			43	29
c	Weather	21	8	21	13
			confounding effect [%]		confounding effect [%]
d	CM & Farm		18		24
e	Weather & Farm		18		16
f	CM & Weather		0		0
g	CM & Farm & Weather		13		9
Σ a-g	All explaining variables		100		100
	Overall explained variability		0.62		0.55

Gross effects were calculated by means of separate RDAs with the respective factor set. Net effects were calculated by means of partial RDAs of the respective factor set with the other 2 sets as co-variables. Effects were calculated as ratio of particular eigenvalues and sum of all eigenvalues. All effects were tested significant at the level of $p < 0.01$ by a permutation test. Confounding effects reflect shares of variability which are caused by the combination factor sets. Partitions d - f were calculated as the joint effect of the 2 factor sets with the third factor set as co-variable reduced by net effects of the 2 factor sets. Partition g is the joint effect of all explaining variables reduced by net effects.

The parameter with main influence on pesticide group patterns in our data set was Farm, accounting for 37% of explained variability (Table 3). When the categorical variable 'Farm name' was exchanged for the 2 variables 'Farm type' and 'Soil quality index', this factor set still accounted for the highest proportion with 29 % of explained variability. Crop management and weather conditions are of a similar importance, but much less important than the farm characteristics. Both factor sets are independent, confounding between the two factor sets could only be detected in the combination of all 3 factor sets.

In contrast, there is a high level of confounding (18 % resp. 24 %) between 'Farm' and 'CM', showing how crop management differs between farms. The confounding between 'Farm' and 'Weather' expresses the dispersion of the farm locations over the study area with a gradient of weather conditions. The strong connection of farm and pesticide group use also manifests in the distribution of fields from different farms over the clusters (Table 4). Fields in clusters 9 and 10 come from very distinct farm by season situations: Farm A, season 2005 & 2006 respective season 2007.

Table 4: Cluster membership of fields on different farms and different seasons (number of fields in specified cluster)

Farm	Cluster									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A		5	102		1		44	2	30	16
B	24	15	5	26	1	33		1		
C			13		35		14	5		
D		8	19	10	8		3	25		
E	2	21			4		10			
F	3	3	1		1	2	3			
G		9	7	1	2		13	12		

Season	Cluster									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2001	6	9	32	2		5				
2002	4	3	51	4		1		4		
2003	8	1	37	16	16		4	2		
2004	11	7	1	9	22	3	32	12		
2005		16	5		1		26	15	16	
2006		6	3	3	2	11	18	8	14	
2007		1	9	3	2	15	7	4		16

Influence of crop management factors

Except for the upside-down-orientation of the plot, the unconstrained ordination of the 166 data sets with complete CM records (Figure 3.A and B) shows a very similar distribution of fields, as well as a similar position of pesticide group means as the ordination of all 539 data sets (Figure 2Figure.C). The position of insecticide is slightly changed because all plots of cluster 10 had to be excluded due to missing crop management data. These fields were the ones with highest insecticide use.

Constrained ordination with "Farm" and "Weather" parameters as co-variables reveals the connection of the group patterns with significant CM factors. (Figure 3.C & D) The first and second constrained axes were shown to be significant in a permutation test, but the third axis was not. The first axis, accounting for 77% of the explained variation, depicts a pure seeding time gradient. Ranging from late seeding days to early seeding, fields are associated with an increasing amount of all four pesticide

groups. Herbicide scores are especially high for early seeding. The second axis explained another 20% of variation. It depicts two gradients: one is a fertilizer gradient, ranging from smaller to higher N input. Another is a '(no) risk gradient'. It ranges from low-till / low susceptibility cultivar combinations to highly susceptible varieties combined with ploughing. Thus, it seems that farmers combine these factors to avoid risk: low-till is not combined with high susceptibility.

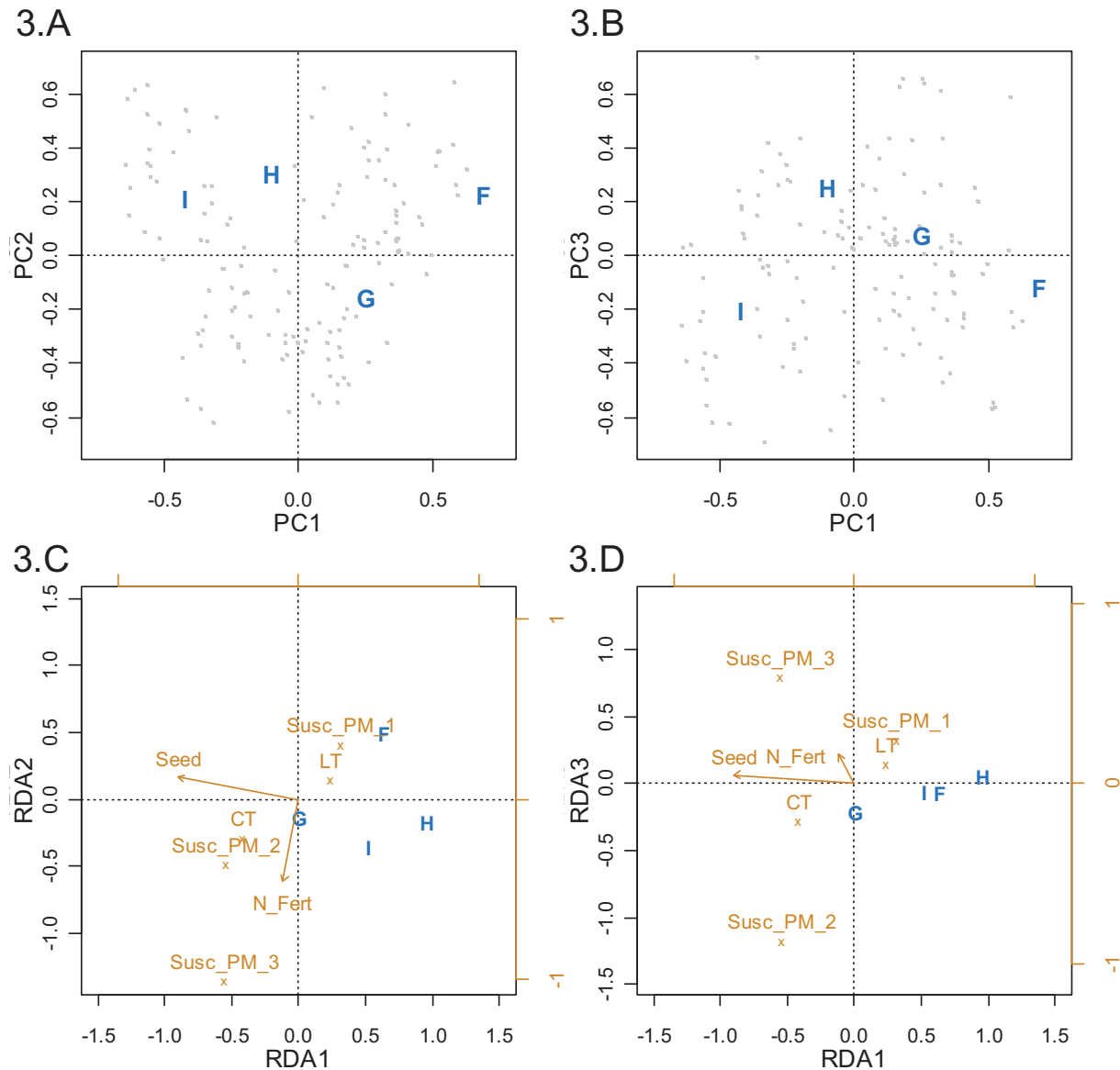


Figure 3: Influence of Crop Management on pesticide group use. A & B. Principal Components Analysis of 116 fields. C & D. Constrained Analysis (RDA) with CM factors as constraints and 'Farm' and 'Weather' as co-variables. Dots show the fields. Capital letters show loadings of pesticide groups: F – fungicides, H – herbicides, I – insecticides, G – growth regulators. CM factors are represented by arrows for continuous variables and by "x" for categorical variables. Names are placed nearby. Abbreviations for CM factors: Seed – seeding date, N_Fert – nitrogen fertiliser, CT – conventional tillage (ploughing), LT – low-till (no ploughing), Susc_PM – cultivar susceptibility for Powdery Mildew (1 – low, 2 – medium, 3 – high).

The second axis could also be interpreted as a gradient of 'cropping intensity': ranging from smaller cultivar susceptibility, low-till and lower fertilizer to a higher intensity combination with ploughing, higher susceptibility cultivars and high levels of fertilizer. Higher N input is associated with insecticide input, fungicide use is associated with lower N input. Also fungicide is associated with low-tillage, in combination with low susceptibility against Powdery Mildew. Low-till is associated with herbicide use.

5.6. Discussion

Influence of CM factors on pesticide use intensity

Although the main determinants of pesticide use intensity in our study are farm specific characteristics, there is a clear connection to crop management even beyond the single farm. As we hypothesised for this study, pesticide use is adapted in practice to the overall cropping intensity. Fields which are managed with typical IPM characteristics like later seeding and resistant cultivars appear to have lower input and are treated with smaller amounts of especially herbicides and fungicides.

Fields with low pesticide use were seeded later and received less N fertilizer. Of the 20 fields with complete CM record in clusters 1 and 2, mean seeding date was day 270 and mean N fertilizer amounted to 208 kg/ha compared to mean seeding date 258 and 220 kg/ha N in the 11 fields of cluster 9. Another example of IPM principles, a diverse rotation, was also implemented to a higher degree in low input systems. Of the fields in clusters 1 and 2, 40% had a summer crop in the rotation compared to 18% of the cluster 9 fields. Amount of cereals in the rotation was 62% vs. 65%. Early seeding would not be possible without the extensive use of herbicides. This has been observed as the main reason for consistently later seeding dates of organic farming systems compared to non-organic (Norton et al., 2009).

Connection between farm and pesticide use intensity

The multiple factors influencing on-farm pest management decisions and IPM adoption have been explored in a wide range of literature (Wossink et al., 1997, Hammond et al., 2006, Swanton et al., 2008). Out of the many farm specific factors including agronomic, economic and sociological ones, we want to discuss two main components that contribute to the high explanatory power of the variable 'Farm' in our multivariate analysis: I) farm characteristics which determine overall cropping intensity, and II) routine of treatment decisions on the farm.

I) Farm characteristics

As shown in hierarchical variance partitioning, the variables 'Arable soil quality index' and 'Farm type' account for a high proportion of variability explained by the variable 'Farm'. We believe these two characteristics determine overall cropping intensity, which influences pesticide use as discussed above.

Farms on better soil work on higher intensity cropping levels, in terms of both input and output, as a yearly analysis of wheat crops on 20 farms in Mecklenburg-Vorpommern showed (Ziesemer et al., 2008). The 83 fields with a soil quality index between 34 and 44 received an input of seed, fertilizer and pesticides worth 422 €/ha, leading to a yield of 7.8 t/ha. At the same time, 125 fields with soil quality index values of over 44 (mean 49) were managed with inputs worth 451 €/ha and yielded 8.8 t/ha. The difference in costs was mainly caused by pesticide input which was 19% higher on the more fertile soils: 146 €/ha vs. 174 €/ha.

In our analysis, fields with small pesticide use intensity were also the ones with poorer soils. The mean soil quality number of fields in clusters 1 and 2 was around 40 compared to 54 for fields in clusters 9 and 10. The Neptun 2000 project reported similar results regarding the relationship between

agronomic conditions and pesticide use intensity. Although, in that study a statistically sound mean could only be calculated for a distinction in 3 very large areas of Germany due to sample numbers, regions with better soils show higher pesticide use intensity (Burth et al., 2002).

Why do farmers on sites with poorer soil seem to trust more in IPM methods than on fertile soils? We consider that farmers have a realistic estimation about the yield potential of their sites. On sites with a smaller yield potential it may be more often critical to get pesticide costs payed back. In this situation it is a low-cost option to use IPM measures to protect yield. However, whether willingness to use IPM is caused by a deeper trust into IPM-methods or just by a stronger pressure to save production costs can not be answered with our data.

Our results indicate that farm type may influence pesticide use intensity, especially in conjunction with farm size. This is consistent with results reported before (Hammond et al., 2006, Herzog et al., 2006, Jørgensen et al., 2008). On animal farms, main income is derived from the animal products, so farmers' interest and time is mainly in animal care. On such farms, pesticide use intensity tends to be less than on arable farms (Jørgensen et al., 2008). This may be especially true for smaller animal farms. Since arable farms are more dependent on income from the crops, they have a higher cropping intensity paired with a serious interest to protect the crops to the highest possible level.

Herzog et al. (2006) assessed the intensity of agriculture across temperate Europe on a landscape level. On the 25 agricultural landscape test sites, they found negative correlations between livestock density and number of pesticide application on the two major crops in the rotation, also indicating that animal farms use lower pesticide intensity than arable farms.

In a survey of Wisconsin farmers, 35 % of small farmers (bottom quartile of study farms, area of 58 ha) reported not using pesticides on their most productive corn field whereas none of the large farms abstained from pesticide use (large farms: top quartile, 846 ha mean farm area) (Hammond et al., 2006). On the other hand, it was reported that arable farms more frequently used IPM practices like field scouting than dairy farms and larger farms more frequently than smaller farms.

On a large mixed farm, like the four included in our study, plant and animal production are managed separately by specialists for the respective branch. The plant production on such a farm may be comparable with specialised arable farms, but may have some specialities like using manure as a fertilizer and using straw for stables.

II) Routine of pesticide use on farm

In the course of our analysis, we also looked at the single treatments on the fields. Beside the differences in overall STI we found distinct preferences regarding treatments and treatment schemes. Again, these results go along with the findings of earlier studies.

For example, Freier et al. (2008) report for a sample of reference farms that insecticides were the pesticide group with the highest variation between farms. For the report, extension workers evaluated necessity of pesticide treatments independently from the farmers. In many cases, insecticides were used by farmers as a preventive measure but evaluated by the extension persons as 'not necessary'. The use of the insecticides in these cases was not justified by objective reasons but by personal preferences.

Another account of farmers' treatment schemes was reported from a sociological study investigating farmers' way of decision making. Jørgensen et al. (2008) found three types of decision makers under Danish farmers: 'system-oriented', 'experience-based' and 'advisory-based'. System-oriented farmers, who mostly worked on arable farms, were characterized by their systematic approach to planning the operation, for example by preparing a spraying plan in winter, that will mostly be followed during the season. Farmers in this group tend to use relatively high levels of pesticide. Experience-based farmers have no specific plan but are very aware of problems in specific fields resulting in a 'learning by doing' approach and medium to slightly high pesticide input. This corresponds to our findings. The spraying scheme of farm A may indicate management by a 'system-oriented' farmer. It is a mixed farm with a specialised arable branch which we identified as a high pesticide user. The routine of farm F may correspond to the 'experience-based' type of decision makers.

Summing up: From the small number of farm characteristics known for our analysis we could derive results consistent with other studies on farm specific pesticide use and IPM adoption. Pesticide use intensity is influenced by agronomic conditions as well as by preferences of the treatment decision maker.

Data mining by multivariate methods

Our study is an example of secondary data analysis. Other researchers have used records of pesticide data to identify innovative strategies and CM systems with low pesticide need (Penrose et al., 1996, Oakley et al., 2007). Clustering reveals patterns of treatments and allows to identify heavy as well as distinctively lower use patterns. Redundancy analysis helped to analyse significant factors affecting pesticide use intensity.

The analysis lacks information on actual pest incidence as well as on economic success. We could deduce that pesticide use intensity is adjusted to overall cropping intensity, but we do not know the connection to pest occurrence. Another important issue in evaluating pesticide use is the effect on yield and/ or financial success of individual farmers. This leads back to the question of incentives for farmers to adopt IPM. In Germany it is a legal obligation to use IPM principles. However, this is limited to the cases where 'it is economically feasible'. We did not have the opportunity to include economic performance of the farmers in our study.

Without any doubt, farmers need to see an (economic) benefit from IPM also on highly productive land, if they are expected to use the methods voluntarily. Otherwise they may need some other form of incentive. As long as expenditure for pesticides in winter wheat accounts for only 10% of production costs, with fuel and labour costs taking up a much higher proportion of costs, changing pest management is a low priority (Bürger et al., 2008, Ohmart, 2008). As Llewellyn et al. (2004) reported, priorities can change from cost-effectiveness to preserving pesticide effectiveness by integrating non-chemical measures in case of a perceived resistance risk of pests or weeds.

Incentives for farmers to use IPM principles may be legislated and restrictive, giving limits for pesticide use. A strict legal measure like prohibiting dangerous substances, as in recent European Union legislation, may force farmers to come out of their path-dependency and unlock the lock-in of pesticide reliance in arable farming. If availability of pesticides decreases, the demand may rise towards all institutions that are part of the agricultural business to provide for appropriate pest management measures. As Vanloqueren et al. (2008) have shown for the example of resistant cultivars, IPM measures may simply not be appropriately promoted to farmers by researchers, extension personnel and suppliers due to traditions or bias grounded on commercial interests.

Alternatively, an incentive may be acknowledging and positive by rewarding innovative users with a premium for taking higher risks. A possible framework for choosing the appropriate kind of incentive taking into account the relation between public and private benefits was proposed by Pannell (2008).

The analysis performed in our study showed the high influence of farm and farmer's characteristics on pesticide use. This finding highlights the importance of a well balanced study design and choice of study farms when collecting data on pesticide use with the intention of deriving regional mean and/or maximum values.

To promote pesticide reduction, it is still necessary to look for farmers with innovative strategies and lower pesticide use. Their knowledge and success on-farm may be a good argument for other farmers in the region to adopt lower pesticide use or other IPM measures. Data mining of pest management data and farmer-to-farmer exchange on IPM strategies have been shown to be valuable tools for identification of innovative pesticide strategies and promotion of IPM adoption between farmers (Zhang et al., 2006, Oakley et al., 2007).

5.7. Conclusion

Our analysis provides on-farm evidence that agronomic measures which are part of IPM lead to smaller pesticide use intensity. Crop management explains 10% of pesticide use variability, even beyond the influence of changing weather, differing agronomic conditions and the behaviour of treatment deciders.

The downside of our findings is that these lower input CM systems are typically used only on less productive sites. Research on economic success of IPM users is needed. Data mining and farmer-to-farmer exchange can be valuable tools to identify and transmit innovative strategies. A discussion on incentives for IPM adoption is still needed in the context of National Action plans and European legislation on sustainable use of pesticides.

5.8. Acknowledgements

We would like to thank Eckhard Lehmann and Andrea Ziesemer of the State Research Institute for Agriculture and Fishery Mecklenburg-Vorpommern for providing the data.

5.9. References

- Anonymous, 2008. Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.
- Anonymous, 2009a. Framework Directive on the Sustainable Use of Pesticides. European Union and European Commission.
- Anonymous 2009b. Agrarbericht 2009 des Landes Mecklenburg-Vorpommern (Berichtsjahr 2008). Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern.
- Been, T., Berti, A., Evans, N., Gouache, D., Gutsche, V., Jensen, J. E., Kapsa, J., Levay, N., Munier-Jolain, N., Nibouche, S., Raynal, M., Rydahl, P., 2009. Review of new technologies critical to effective implementation of Decision Support Systems (DSS's) and Farm Management Systems (FMS's). Report from the ENDURE Network. Aarhus University, Aarhus, Denmark.
- Borcard, D., Legendre, P., Drapeau, P., 1992. Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*. 73, 1045-1055.
- Brooks, R. J., Semenov, M. A., Jamieson, P. D., 2001. Simplifying Sirius: Sensitivity analysis and development of a meta-model for wheat yield prediction. *Eur. J. Agron.* 14, 43 - 60.
- Brown, J. K. M., 2002. Yield penalties of disease resistance in crops. *Curr. Opin. Plant Biol.* 5, 339 - 344.
- Bürger, J., de Mol, F., Gerowitt, B., 2008. The 'necessary extent' of pesticide use - Thoughts about a key term in German pesticide policy. *Crop Prot.* 27, 343 - 351.
- Bundessortenamt, 2006. Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte 2006, Deutscher Landwirtschaftsverlag, Hannover.
- Burth, U., Gutsche, V., Freier, B., Roßberg, D., 2002. Das notwendige Maß bei der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel. (German, with English abstract). *Nachrichtenbl. Dtsch. Pflanzenschutzd.* 54, 297-303.
- Colbach, N., Duby, C., Cavelier, A., Meynard, J. M., 1997. Influence of cropping systems on foot and root diseases of winter wheat: Fitting of a statistical model. *Eur. J. Agron.* 6, 61-77.
- Colbach, N., Meynard, J., Duby, C., Huet, P., 1999. A dynamic model of the influence of rotation and crop management on the disease development of eyespot. Proposal of cropping systems with low disease risk. *Crop prot.* 18, 451-462.
- Freier, B., Pallutt, B., Jahn, M., Sellmann, J., Gutsche, V., Zornbach, W., 2008. Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2007. *Mitt. JKI*, 144.
- Hammond, C. M., Luschei, E. C., Boerboom, C. M., Nowak, P. J., 2006. Adoption of Integrated Pest Management Tactics by Wisconsin Farmers. *Weed technol.* 20, 756-767.
- Herzog, F., Steiner, B., Bailey, D., Baudry, J., Billeter, R., Bukšcek, R., De Blust, G., De Cock, R., Dirksen, J., Dormann, C. F., De Filippi, R., Frossard, E., Liira, J., Schmidt, T., Stöckli, R., Thenail, C., Van Wingerden, W., Bugter, R., 2006. Assessing the intensity of temperate European agriculture at the landscape scale. *Eur. J. Agron.* 24, 165 - 181.
- Holst, N., Rasmussen, I. A., Bastiaans, L., 2007. Field weed population dynamics: A review of model approaches and applications. *Weed Res.* 47, 1 - 14.

- Jørgensen, L. N., Noe, E., Nielsen, G. C., Jensen, J. E., Ørum, J. E., Pinnschmidt, H., 2008. Problems with disseminating information on disease control in cereals to farmers. *Eur. J. Plant Pathol.* 121, 303-312.
- Koch, H., Pringas, C., Maerlaender, B., 2006. Evaluation of environmental and management effects on *Fusarium* head blight infection and deoxynivalenol concentration in the grain of winter wheat. *Eur. J. Agron.* 24, 357 - 366.
- Larsson, H., 2005. A crop loss model and economic thresholds for the grain aphid, *Sitobion avenae* (F.), in winter wheat in southern Sweden. *Crop Prot.* 24, 397-406.
- Legendre, P., Legendre, L., 2003. Numerical ecology. Elsevier, Amsterdam.
- Llewellyn, R. S., Lindner, R. K., Pannell, D. J., Powles, S. B., 2004. Grain grower perceptions and use of integrated weed management. *Austral. J. Exp. Agric.* 44, 993-1001.
- Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M., 2005. Cluster Analysis Basics and Extensions. Unpublished.
- Norton, L., Johnson, P., Joys, A., Stuart, R., Chamberlain, D., Feber, R., Firbank, L., Manley, W., Wolfe, M., Hart, B., Mathews, F., Macdonald, D., Fuller, R. J., 2009. Consequences of organic and non-organic farming practices for field, farm and landscape complexity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 129, 221-227.
- Oakley, E., Zhang, M., Miller, P. R., 2007. Mining pesticide use data to identify best management practices. *Renew. Agric. Food Syst.* 22, 260-270.
- Ohmart, C., 2008. IPM implementation at field level: "What are the impediments to grower adoption of IPM? Why do they exist and what can be done to get around them?". In: Diversifying crop protection. Proceedings of the ENDURE International conference 2008. http://www.endure-network.eu/international_conference_2008/proceedings
- Oksanen, J., Kindt, R., Legendre, P., O'Hara, B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Wagner, H., 2008. *vegan: Community Ecology Package*.
- Pannell, D. J., 2008. Public: private benefits framework version 3. INFFER Working Paper 0805. updated version of journal paper, available at <http://cylkene.uwa.edu.au/~dpannell/dp0902.htm>.
- Penrose, L. J., Bower, C. C., Nicol, H. I., 1996. Variability in pesticide use as a factor in measuring and bringing about reduction in pesticide usage in apple orchards. *Agric. Ecosyst. Environ.* 59, 97-105.
- Pienz, G., Michel, V., 2005. Landessortenversuche Mecklenburg-Vorpommern Weizen 2004, (German).
- R Development Core Team, 2004. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Riley, H. C. F., Bleken, M. A., Abrahamsen, S., Bergjord, A. K., Bakken, A. K., 2005. Effects of alternative tillage systems on soil quality and yield of spring cereals on silty clay loam and sandy loam soils in the cool, wet climate of central Norway. *Soil Till. Res.* 80, 79-93.
- Roßberg, D., 2002. NEPTUN 2000 - Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands. *Mitt. Biol. Bundesanstalt.* 98, (German).
- Roßberg, D., 2007. NEPTUN oder "Wie oft wird gespritzt?". (German with English abstract). *Ges. Pflanzen.* 55-65.

- Roßberg, D., Michel, V., Graf, R., Neukampf, R., 2007. Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. (German with English abstract). *Nachrichtenbl. Dtsch. Pflanzenschutzd.* 59, 155-161.
- Rousseeuw, P., 1987. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *J. Comput. Appl. Math.* 20, 53-65.
- Sattler, C., Kächele, H., Verch, G., 2007. Assessing the intensity of pesticide use in agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 119, 299-304.
- Savary, S., Teng, P. S., Willocquet, L., Nutter, F. W., 2006. Quantification and Modeling of Crop Losses: A Review of Purposes. *Ann. Rev. Phytopathol.* 44, 89-112.
- Swanton, C. J., Mahoney, K. J., Chandler, K., Gulden, R. H., 2008. Integrated weed management: Knowledge-based weed management systems. *Weed Sci.* 56, 168-172.
- Vanloqueren, G., Baret, P. V., 2008. Why are ecological, low-input, multi-resistant wheat cultivars slow to develop commercially? A Belgian agricultural 'lock-in' case study. *Ecolog. Econom.* 66, 436-446.
- Verreet, J. A., Klink, H., Hoffmann, G. M., 2000. Regional Monitoring for Disease Prediction and Optimization of Plant Protection Measures: The IPM Wheat Model. *EPPO Bull.* 84, 816-826.
- Willocquet, L., Aubertot, J., Lebard, S., Robert, C., Lannou, C., Savary, S., 2008. Simulating multiple pest damage in varying winter wheat production situations. *Field Crops Res.* 107, 12-28.
- Wossink, G. A. A., De Buck, A. J., Van Niejenhuis, J. H., Haverkamp, H. C. M., 1997. Farmer perceptions of weed control techniques in sugarbeet. *Agricult. Syst.* 55, 409-423.
- Zhang, M., Miller, R., 2006. On-Farm Innovation: The Analysis of the PUR Database to Identify Locally-Optimized Ecological Farm Management Practices, Final report. http://www.epa.gov/opbtpd1/PESP/regional_grants/2001/r9-2001-final.htm.
- Ziesemer, A., Heilmann, H., 2008. Zusammenfassung praxisrelevanter Schlagkarteidaten und ökonomische Bewertung ausgewählter Verfahrensabschnitte im Acker- und Pflanzenbau, Schlagkarteiauswertung Mähdruschfrüchte 2008 (German). <http://famv.de/index.php?/content/view/full/6333>.

6. How specific is pesticide use? On the influence of cropping system, seasonal, regional and farm specific factors

Jana Bürger, Astrid Günther & Bärbel Gerowitt
Agricultural Systems (in review)

6.1. Abstract

We present an approach of Linear Mixed Effects Modelling to analyse the influence of crop management factors like rotation, tillage, seeding time and cultivar choice on pesticide use intensity from on-farm data. As an example we use data of 761 winter wheat crops from eight commercial farms in six different regions of Eastern Germany. By defining cropping year, farm and region as random effects the variability caused by these external factors can be accounted for before estimating effects of crop management factors. The benefit of such analysis is to utilise the practical experience that farmers generate with their daily work for research questions. For example, even decades into its development and promotion, there is still rare evidence on the effect of Integrated Pest Management (IPM) adoption on the pesticide use intensity in practical agriculture. Pesticide use intensity was quantified using the Standardised Treatment Index (STI). For fungicides, herbicides and growth regulators, we modelled STI as response of 11 management variables. Modelling of insecticide use intensity failed.

Our results confirmed that pesticide use intensity was heavily influenced by differences in cropping conditions between years and by differences between farms. Differences between regions were masked by farm differences due to the small number of farms per region in our analysis. Our results also showed that pesticide use intensity was strongly connected to crop management, mainly to preceding crop, seeding time and cultivar characteristics. Pesticide use was smaller when preventive measures typical for IPM were taken.

We could show that the Mixed Effects Modelling approach with multiple predictor variables is better suited than one- or two-factorial methods for analysing the connection between crop management and pesticide treatment decisions. Both are complex systems where one factor is interconnected with all other factors and with the external production conditions. We discuss how the random variables influence the need for pesticide use and the individual treatment decisions. Our findings imply that future pesticide use analysis must take regional and farm specific factors into account when deriving statistical means from on-farm samples.

We conclude that the pesticide use monitoring which recently was made mandatory throughout Europe could serve as a magnificent data base for scientific research when data acquisition and analysis are well exploited. Farm-type specific results may also be a better help for farmers to adopt cropping systems which are less dependent on pesticide use.

6.2. Introduction

Recent European legislation has made it mandatory to Member States to monitor the use of chemical plant protection products as one action towards reducing risks for farmers, consumers and the environment associated with their use (Anonymous, 2009a, Anonymous, 2009b). Since the start of their extensive use, pesticides were part of agriculture's intensification resulting in immense growth of yields, over the past 50 to 60 years. This intensification is also characterised by mechanisation, rising farm sizes, fewer needed workers, specialisation and concentration on few crops. The economic pressure in a more and more globalised market is a main driver of this development.

Pesticides have been the basis of intensification, but they also serve as remedies for sub-optimal crop management. Low tillage cropping, for example, which prevents soil erosion, saves labour time and machinery fuel would hardly be possible without herbicides. Early seeding, as another example, provides one means to spread work in the main season on large farms which need to optimise labour and machinery use, and get all crops established in time, especially when crop rotations are short and crop diversity low. With high inputs of nitrogen fertilisers and pesticides, these early crops are economically sensible and profitable (Ziesemer et al., 2007).

An adverse trend has been the promotion of Integrated Pest Management (IPM) or Integrated Crop Management. Initialised by the negative effects of pesticide use (Stern et al., 1959), but also by arising resistance of pests and weeds against pesticides (Gorddard, 1996), this approach promotes monitoring, use of decision support for pesticide treatments, but also emphasises the use of non chemical methods of crop protection, especially all agronomic possibilities to reduce the risk of pest incidence and the need for pesticide use.

Monitoring the amount of pesticide use can be the basis for action on different levels. Denmark used the Treatment Frequency Index (TFI) on a national level to set limits and reduction goals for the whole agricultural industry in the context of Pesticide Action Plans the first of which was issued in 1986 (Jørgensen, 2009). In California, the Pesticide Use Reporting records are analysed for innovative use patterns on a regional level. The analysis serves as advisory tool in participatory approaches (Oakley et al., 2007). A similar project has been reported from New Zealand (Penrose et al., 1996). In Germany, since 2007 a reference network of farms has been established (Freier et al., 2008, Freier et al., 2009). The farms of the network supply pesticide use and cropping data which are statistically analysed for regions of similar soil and climatic conditions (Roßberg et al., 2007). The regional means and standard deviations are intended to serve farmers as a benchmarking tool to critically check their own pesticide use intensity and avoid unnecessary treatments.

Decades into the development and promotion of IPM there is still rare evidence on the effect of its adoption on the pesticide use intensity in practical agriculture. Studies on pest or weed severity in crops managed with IPM, as well as some economic analyses can be found in the literature, but hardly any data on resulting pesticide use intensity (Bürger et al., 2008).

In this paper, we show that the pesticide use monitoring could serve as a data base for such analysis. We present an approach of mixed effects regression to detect possible pesticide reduction margins reached with IPM measures from on-farm data on an example of winter wheat crops in different regions of Eastern Germany. As a side effect, this method allows to integrate external sources of variability and quantify their influence. The variability between years, farms and regions can be quantified and partly explained by additional detailed examination of crop management and pesticide usage patterns.

6.3. Data

We analysed data from 761 winter wheat crops harvested between 2002 and 2007 on eight commercial farms in Eastern Germany. The data collection has been described in former works where part of the data was analysed in different approaches (Bürger et al., 2010, Günther, 2010). Data of farms A to D were obtained from the State Research Institution for Agriculture and Fisheries Mecklenburg-Vorpommern where they were originally collected for economic analysis. Data of farms E to H were collected for preliminary studies for the German network of reference farms for plant protection. See Table 1 for information on main production characteristics of the farms.

Pesticide use data

Data originate from farmers' records. All treatments with fungicides, herbicides, insecticides and growth regulators were considered for analysis. Treatment records comprised of date, area, exact name of product and dosage. We examined records for errors and plausibility. Fields with questionable records were excluded from the analysis.

We used the Standardised Treatment Index as measurement of pesticide use intensity which was introduced in Germany by Roßberg (2002). The indicator describes the treatment frequency on a field over the whole cropping period with recognition of below label doses and partial treatments. By means of standardisation to the maximum approved dosage the indicator provides the possibility to compare the intensity of very different treatments, and is an alternative to measures of active ingredient applied or simple number of treatments. See Sattler (2007) for a more detailed description of the calculation procedure.

Data on crop management

Information on crop management of the fields was also obtained from farmers' records, as far as available. This included preceding crops, tillage, seeding time, grown cultivar.

Table 1: Farm characteristics and information on cropping system (¹ Region: Soil-Climate-Regions of similar cropping conditions as defined by Roßberg et al. (2007). 101- Areas of average soil quality in the off coast areas of Mecklenburg-Vorpommern, 104- Dry and warm diluvial soils of the East German low lands, 107- Loess soils of the Eastern arable plane, 108- loess soils of the Eastern forelands 158- North western Mecklenburg and coastal areas with good diluvial soils. ² Arable soil quality index: official German rating index of soil quality for arable production, points out of 100, values are range of minimum to maximum.)

Farm	Arable land [ha]	Specialisation	Region ¹	Arable Soil Quality Index ²	Proportion of crops in the rotation [%]			Tillage
					Cereals	Winter wheat	Oil seed rape	
A	1000	Mixed (pigs)	101	25-48	50	38	25	changing
B	2000	Mixed (milk)	101	29-44	51	44	32	no ploughing
C	800	Arable	158	36-52	75	40	24	always ploughing
D	4000	Mixed (milk)	158	30-68	64	44	30	changing
E	300	Arable	104	30-60	76	14	20	mostly ploughing
F	750	Arable	107	62-100	60	38	19	no ploughing
G	800	Arable	107	60-95	60	50	16	mostly ploughing
H	4200	Mixed (milk)	108	35-85	53	31	18	changing

Altogether we included eleven management variables in the analysis. Four variables depicted main components of the rotation relevant for pesticide use in wheat. These were 'Preceding Crop' (oil seed rape (OSR), maize, winter wheat, sugar beet, other winter crops, and other summer crops), 'Cereals in rotation' (as % of crops in the rotation cycle of 3 to 5 years) and 'Spring crop in rotation' (0 for no and 1 for at least one spring sown crop). The fourth variable 'Stubble Wheat' (taking 1 for wheat and 0 for any other preceding crop) was included to separately acknowledge the special management situation with higher disease and lodging risk in cropping wheat after wheat.

The variable 'Tillage' distinguished between tillage with and without ploughing. 'Seeding time' was included as a variable that translated the seeding date into classes of early, normal and late seeding with regard to the varying cropping conditions in the regions. We used the seeding time recommended by the regional extension services as reference for the normal seeding class, and classified the seeding dates before and after this period as early and late seeding, respectively.

Information on cultivar characteristics was taken from the ratings of the Federal Authority on Plant Varieties' description list (Bundessortenamt, 2006) and represented by three classes: low (rating scores 1 to 3), medium (rating 4 to 6) and high (rating 7 to 9). Our analysis included variables for disease susceptibilities to the most important fungal diseases Powdery Mildew (*Blumeria graminis*), Septoria leaf blotch (*Septoria tritici*/ *Mycosphaerella graminicola*) and Fusarium (*Fusarium* ssp.), and for the disposition to lodging.

Nitrogen fertilisation as the rate of mineral and organic nitrogen applied could not be included in the analysis as it was collected only for a minority of farms. As an alternative indication for cropping intensity in wheat we chose the quality type of wheat which usually correlates with input intensity in the following decreasing order: E, A, B, C. This is partly due to nutrient demands for the higher qualities, but as well due to the economical context: the higher qualities yield higher prices, and subsequently give a higher gross margin.

Unfortunately, in some cases, datasets were not complete on all management variables, mainly for rotations (proportion of cereals, spring crop) and tillage.

A first data exploration revealed distinct cropping patterns: Some combinations of cropping factors were used very frequently. In the most common situation, an A-quality wheat was cropped after oil seed rape, sown early after low-tillage, and a cultivar chosen with low susceptibility against Powdery Mildew, medium susceptibilities against Septoria and Fusarium and with a medium lodging rating.

Highest quality (E) varieties were mainly cropped after maize and sugar beet, ploughing after maize, while not ploughing after beet. Due to the preceding crops, these cases showed late seeding dates. Cultivars here predominantly had a medium susceptibility to all three diseases and medium to high disposition for lodging. Stubble wheat was not cropped with E quality varieties, but mainly ploughed.

6.4. Analysis

The treatment intensity was analysed in two steps: First, we looked at the variability between fields, years, farms and regions, using simple descriptive statistics, boxplots and variation coefficients.

Second, we focussed on the relationship between crop management variables and treatment intensity. A separate Linear Mixed Effects Model was fit with each of the pesticide group STIs as the response variable. We defined the crop management variables as fixed effects and farm ID, region ID and cropping year as random effects, farms being nested within regions. This allowed to estimate fixed effects parameters after correcting for variation caused by the other, external factors. Datasets of 565 fields with complete records were used for this. An important advantage of the method is the ability to handle imbalanced data. Due to farm sizes and availability of management data, the number of fields analysed per farm and season varied between 0 and 53.

Best models were chosen through a backwards model selection procedure following a modelling protocol adapted from Zuur et al. (2009). We kept the random effects structure constant throughout the selection of important crop management factors. For this, all possible crop management variables and all practically sensible two-way interactions were first incorporated into one model. Then, comparing models with and without a certain term by a Log Likelihood Ratio Test following Maximum

Likelihood (ML) estimation, all terms were deleted stepwise that did not affect model performance significantly.

Parameter estimates give the effect of each factor level, all compared to a standard cropping situation. As standard we chose the factor level combination most common in our data as described above. We tested the fixed effects for significance by a Monte Carlo Markov Chain approach, with a 10.000 sample simulation of the model, followed by calculating Highest Posterior Density Intervals which can serve as estimation of confidence intervals.

Modelling insecticide intensity from the crop management variables was not successful. As many fields were not treated against insects, the assumption of normal distribution of values was heavily violated. Approaches transforming the response variable and using a binomial link function did not result in useful models.

Growth regulator use was modelled of data from only 7 farms as one farm used substantially higher amounts of growth regulators than all other farms. (see section 6.5.)

Two models are presented for each of the pesticide groups. In the model selection process, we noticed that the variable of 'Preceding crop' camouflaged the effect of other cropping factors due to the connection between certain preceding crops and the following management of wheat. One model therefore was obtained including the preceding crop in the model formulation, one model excluding it.

All analysis was carried out using R software (R Development Core Team, 2008). Packages lme4 and languageR provided functions for mixed effects modelling and significance testing (Bates et al., 2008, Baayen, 2008).

6.5. Results

Treatment intensity and variability of STI

Figure 1 provides an overview of the intensity of pesticide use on the farms, including values of the overall STI, and an impression of the variability between farms and years.

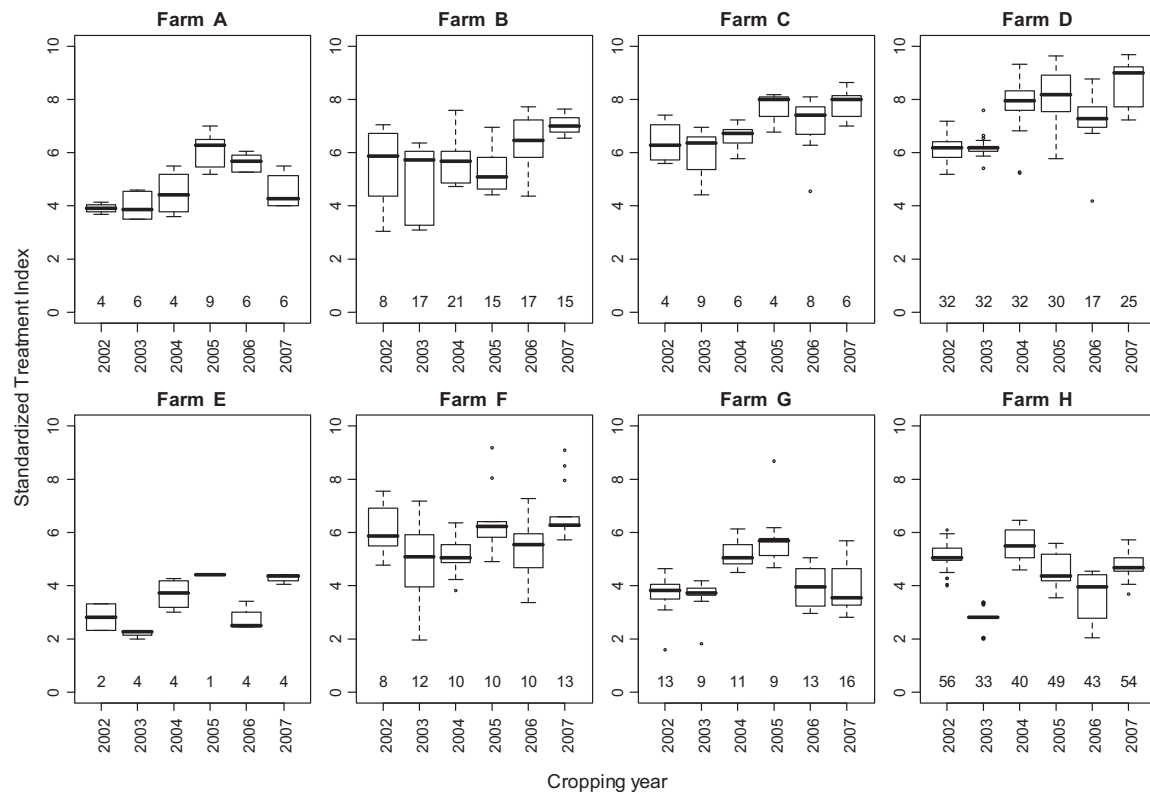


Figure 1: STI on farms in the 6 years. Small numbers show number of fields.

The detailed examination of the pesticide group STIs revealed two farm specific patterns of pesticide use. Firstly, the two largest farms with a high number of fields, D and H, treated fields more uniformly than other farms. For fungicides and growth regulators this is evident from the smaller variation within the single years: the variation coefficient of all fields on one farm in one year was calculated and averaged over all six years. This mean variation coefficient was 0.1 for fungicides on farms D and H which is only about half that of the other farms (0.19-0.24). Growth regulator use had a mean variation coefficient of 0.1 and 0.12 on these two farms compared to 0.24-0.41 on the other farms.

Secondly, some farms seem to have specific preferences for certain treatments. On farm B, insecticides were used on a very regular basis and comparatively high level. Whereas three farms in most years did not use any insecticides, and all other farms did not exceed STIs of 1.0, on farm B all fields were treated at least once in a season with STI between 0.5 and 1.3. Similarly, farm D had a much higher input of growth regulator than all the other farms, amounting to a mean of 1.8 +/- 0.21 s.d., compared to means of 0.8 +/- 0.3 s.d. to 1.2 +/- 0.3 s.d. on the other farms.

Additionally to the graphic presentation, we provide variation coefficients as a relative measure of variability in Table 2. Coefficients were calculated for three spatial scales of analysis: local (farm), regional and global (for the complete data set).

Table 2: Variation coefficients of pesticide use intensity. Variation coefficients were calculated for the specified unit and then averaged over the complete data set.

Spatial Scale	Description	Overall STI	Fung STI	Herb STI	Insect STI	Growth Reg STI
Local (Farm)	between fields of one farm in one year	0.15	0.16	0.24	0.90	0.22
	between years on one farm	0.18	0.27	0.21	1.05	0.21
Regional	between farms in one year in one region (regions 101, 107, 158)	0.15	0.22	0.26	0.96	0.29
Global	between years over all 8 farms	0.12	0.19	0.09	0.46	0.09
(Complete data)	between farms in one year	0.28	0.37	0.32	1.07	0.38
	between farms over all 6 years	0.26	0.33	0.27	0.75	0.33
	between regions over all 6 years	0.29	0.39	0.28	0.80	0.31

Variability of overall pesticide use, herbicide and growth regulator use at the local farm scale had a similar magnitude between the fields in one particular year as between different years. For fungicides and insecticides the yearly variation was higher than the between fields variation.

Variation on the regional scale was only slightly higher than on the local scale, indicating similar pesticide use under similar conditions. On the highest spatial scale, including all farms, variability between farms rose by a third compared to the regional scale. Contrary, the variability between years decreased.

Variability was highest for insecticides on all levels of analysis.

Mixed Effects Models

Fungicide intensity

Results of two models are presented in Table 3. In model 1, fungicide use was significantly higher after maize crops than after OSR (and all other preceding crops). Model 2 also specifies 0.2 STI higher fungicide use when fields are ploughed, which is mainly the case with maize as pre-crop. Ploughed stubble wheat had the same fungicide intensity like low tillage wheat after OSR, as the coefficient for stubble wheat is 0.2 STI lower than all fields with other preceding crops.

Less fungicide was used in later sown crops and with lower susceptibility to Septoria and Fusarium. Adversely, cultivars that were more susceptible to Powdery Mildew had a lower fungicide intensity than resistant cultivars (significant for class 3 against class 1). The explanation for this could be that Septoria trit. was the predominant disease in the study period. Also Fusarium infections were treated with great caution and use of resistant cultivars promoted due to new strict legal regulations on toxin contents of products. B-quality cultivars were treated less with fungicides than A and E qualities.

Herbicide intensity

According to the first model, herbicide intensity was significantly lower in wheat crops following maize and sugar beet than following oil seed rape and the other crops (Table 4). With the later seeding dates, following the two spring crops maize and sugar beet, and E-quality crops, which were common after maize, the difference between fields with the two most common cropping factor combinations sums up to 0.6 STI. In model 2 which includes tillage, only small additional effect on herbicide use could be attributed to conventional vs. reduced tillage.

Table 3: Fungicide Intensity Models. HPD95: Highest Posterior Density Interval, upper/ lower limits of 95% “confidence intervals”. pMCMC: Significance as established by Markov chain Monte Carlo Procedure. Bold figures: factor levels with a significant effect compared to the standard cropping situation as described in Chapter 3.

Fixed Effects	Model 1					Model 2				
	Estimate	Std. Error	HPD95 lower	HPD95 upper	p MCMC	Estimate	Std. Error	HPD95 lower	HPD95 upper	p MCMC
Intercept	2.6	0.4	2.0	3.2	0.00	2.6	0.4	2.0	3.1	0.00
Preceding crop Maize	0.2	0.1	0.0	0.3	0.01					
Wheat	-0.1	0.1	-0.3	0.0	0.10					
Sugar beet	-0.1	0.1	-0.3	0.1	0.46					
Other spring crops	0.0	0.1	-0.1	0.2	0.72					
Other winter crops	-0.1	0.2	-0.5	0.4	0.79					
Conventional tillage						0.2	0.1	0.1	0.3	0.00
Stubble Wheat						-0.2	0.1	-0.4	-0.1	0.01
Seeding time normal	-0.2	0.1	-0.3	-0.1	0.00	-0.2	0.1	-0.4	-0.1	0.00
late	-0.3	0.1	-0.4	-0.2	0.00	-0.3	0.1	-0.5	-0.2	0.00
Mildew susceptibility medium	0.0	0.1	-0.2	0.1	0.37	0.0	0.1	-0.2	0.01	0.51
high	-0.4	0.1	-0.7	-0.2	0.00	-0.4	0.1	-0.6	-0.2	0.00
Septoria susceptibility low	-0.3	0.1	-0.5	-0.2	0.00	-0.3	0.1	-0.5	-0.2	0.00
Fusarium susceptibility low	-0.2	0.1	-0.3	0.0	0.02	-0.2	0.1	-0.3	-0.0	0.01
Quality class B	-0.2	0.1	-0.4	-0.1	0.01	-0.2	0.1	-0.4	-0.1	0.01
E	0.0	0.1	-0.1	0.1	0.96	0.0	0.1	-0.1	0.1	0.90
Random Effects	Variance					Variance				
			HPD95 lower	HPD95 upper				HPD95 lower	HPD95 upper	
Region	0.7		0.2	0.7		0.7		0.2	0.7	
Region: Farm	0.4		0.1	0.5		0.4		0.2	0.5	
Year	0.4		0.2	0.5		0.4		0.2	0.6	
Residual	0.5		0.5	0.5		0.5		0.5	0.5	

Table 4: Herbicide Intensity Models. HPD95: Highest Posterior Density Interval, upper/ lower limits of 95% “confidence intervals”. pMCMC: Significance as established by Markov chain Monte Carlo Procedure. Bold figures: factor levels with a significant effect compared to the standard cropping situation as described in Chapter 3.

Fixed Effects	Model 1						Model 2					
	Estimate	Std. Error	HPD95 lower	HPD95 upper	p MCMC		Estimate	Std.Err or	HPD95 lower	HPD95 upper	p MCMC	
Intercept	1.7	0.2	1.5	2.0	0.00		1.7	0.2	1.4	2.0	0.00	
Preceding crop Maize	-0.3	0.1	-0.4	-0.2	0.00							
Wheat	0.1	0.1	-0.1	0.2	0.37							
Sugar beet	-0.2	0.1	-0.4	0.0	0.02							
Other spring crops	-0.1	0.1	-0.2	0.1	0.29							
Other winter crops	0.1	0.2	-0.3	0.5	0.66							
Conventional tillage							-0.1	0.1	-0.2	0.0	0.02	
Stubble Wheat							0.2	0.1	0.0	0.4	0.01	
Seeding time normal	-0.1	0.1	-0.2	0.0	0.12		-0.1	0.1	-0.2	0.0	0.09	
late	-0.2	0.1	-0.4	-0.1	0.00		-0.3	0.1	-0.4	-0.2	0.00	
Quality class B	0.1	0.1	0.0	0.2	0.16		0.1	0.1	0.0	0.2	0.21	
E	-0.1	0.1	-0.2	0.0	0.03		-0.2	0.1	-0.3	-0.1	0.00	
Random Effects	Variance		HPD95 lower	HPD95 upper			Variance		HPD95 lower	HPD95 upper		
Region	0.0						0.0					
Region: Farm	0.4		0.2	0.5			0.4		0.2	0.5		
Year	0.1		0.0	0.3			0.1		0.0	0.3		
Residual	0.5		0.4	0.5			0.5		0.5	0.5		

Table 5: Growth Regulator Intensity Models. HPD95: Highest Posterior Density Interval, upper/ lower limits of 95% “confidence intervals”. pMCMC: Significance as established by Markov chain Monte Carlo Procedure. Bold figures: factor levels with a significant effect compared to the standard cropping situation as described in Chapter 3.

Fixed Effects	Model 1						Model 2					
	Estimate	Std. Error	HPD95 lower	HPD95 upper	p MCMC		Estimate	Std. Error	HPD95 lower	HPD95 upper	p MCMC	
Intercept	1.0	0.1	0.8	1.2	0.00		1.0	0.1	0.8	1.2	0.00	
Preceding crop Maize	0.1	0.0	0.0	0.2	0.00							
Wheat	-0.3	0.1	-0.4	-0.1	0.00							
Sugar beet	-0.1	0.1	-0.2	0.0	0.13							
Other spring crops	0.0	0.0	-0.1	0.1	0.54							
Other winter crops	0.0	0.1	-0.2	0.2	0.82							
Conventional tillage							0.1	0.0	0.0	0.2	0.00	
Stubble Wheat							-0.3	0.1	-0.4	-0.1	0.00	
Seeding time normal	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.05		-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.07	
late	-0.1	0.0	-0.2	0.0	0.00		-0.1	0.0	-0.2	0.0	0.00	
Inclination to lodging low	-0.1	0.0	-0.2	0.0	0.03		-0.1	0.0	-0.2	0.0	0.04	
high	0.1	0.0	0.0	0.2	0.00		0.1	0.0	0.1	0.2	0.00	
Random Effects												
	Variance		HPD95 lower	HPD95 upper			Variance		HPD95 lower	HPD95 upper		
Region	0.0						0.0					
Farm	0.2		0.1	0.2			0.1		0.1	0.2		
Year	0.2		0.1	0.3			0.2		0.1	0.3		
Residual	0.2		0.2	0.3			0.3		0.2	0.3		

Growth regulator intensity

Absolute values and variance of the growth regulator treatments are the smallest of the three pesticide groups (see Table 5). In stubble wheat crops, the growth regulator use was decreased, especially in combination with later seeding. The higher the disposition for lodging of a cultivar was the more it was treated with growth regulators.

Growth regulator intensity was modelled leaving out the Farm D. There was no evidence of a connection between the analysed crop management factors and growth regulator use in the data of Farm D, when modelled separately.

6.6. Discussion

In this paper we presented an approach to analyse on-farm data of pesticide use and crop management separating a number of sources of variability. The method of Mixed Effect Modelling is well suited to analyse these data which were not obtained in a balanced experimental design. The benefit of such analysis is to utilise the practical experience that farmers generate with their daily work for research questions. The focus of our modelling was laid on differences in pesticide use intensity that can be obtained through preventive crop management measures characteristic to IPM, like avoidance of early seeding and use of cultivar resistance against fungal diseases. By integrating year, region and farm as random effects in our models, we could quantify the effect of the crop management factors while accounting for the variability caused by the random factors.

The variability of pesticide use in winter wheat on the analysed commercial farms followed the patterns over time and space revealed in preceding studies (Freier et al., 2008, Günther, 2010). These studies rely on uni- and bi-factorial analyses of crop management effects, which can be confirmed by our results. Extending the analyses by mixed modelling and multiple regression allowed to integrate more than one or two management variables and separate their effects. In the preceding studies it was assumed that some of the analysed effects were confounded with factors that were not analysed. This limited interpretation of the empirical results.

The results of our analysis regarding the size of random effects must be interpreted with caution. The low number of farms per region (max. 2) sets limits for separating the regional effect from the farm effect. This is also evident from the variation coefficients in Table 2 which indicate that variation between regions over all 6 years is only slightly higher than variation between farms. Therefore, the definition of the random effects part in our models mainly describes the structure in our data where not all observations are independent. Such, the estimations take into account that some observations come from the same farm, region or cropping year. Our aim was to exclude variability due to the cropping conditions from the analysis of the crop management factors. The results are less suited to conclude on the relation between region and farm effect.

In the following discussion we will summarise our results on the effect size of the crop management, seasonal, regional and farm specific factors. First, we focus on the influence of crop management in absolute terms and relative to the other factors. We then discuss reasons for the influence of the single random effects. This leads to a final confirmation of the underlying dependence structure in the data and conclusions for further analysis.

Variability within pesticide groups and significant effects

We showed that the use intensity of fungicides, herbicides and growth regulators in winter wheat was highly connected to cultivar characteristics, to preceding crops especially in connection with tillage, and to seeding time. Table 6 summarises how crop management factors increased or decreased pesticide use. Most of the results are in accordance with known relationships and met our hypotheses. The only exception was that in our data higher susceptibilities for Powdery Mildew were associated with lower fungicide use. Moreover, the best models did not include any effect of detailed rotational variables. The bottom part of Table 6 gives a summary of the STI values of variance associated with random and fixed effects in our models.

Table 6: Summary of influential factors. Significant factors compared to the standard cropping situation as described in in Chapter 3. „-“: influence decreasing STI, „+“influence increasing STI. If only single factor levels were significant these are specified in parantheses.

	Fungicides		Herbicides		Growth Regulators	
	Model 1	Model 2	Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
Fixed Effects						
Preceding Crop	+ (Maize)		- (Maize and Sugar Beet)		+ (Maize) - (Wheat)	
Conventional tillage		+		-		+
Stubble Wheat		-		+		-
Seeding time	-	-	-	-	-	-
Mildew susceptibility	-	-				
Septoria susceptibility	+	+				
Fusarium susceptibility	+	+				
Lodging susceptibility					+	+
Quality class	- (B)		- (E)	- (E)		
Random Effects						
Region		0.7		0.0	0.0	0.0
Farm		0.4		0.4	0.1	0.2
Year		0.4		0.1	0.2	0.2
Residual = Sum of Fixed Effects		0.5		0.5	0.3	0.2

As fungicides contribute the highest portion to the overall STI in wheat, the value of variance was highest for this pesticide group. The influence of region and year on fungicide use corresponds with the regional and seasonal differences in occurrence and severity of fungal diseases. Depending on the diseases and regions analysed, some authors reported a higher variability of diseases within years (Wiik (2009) for a complex of leave blotch diseases including *Septoria trit.*, *Septoria nod.* and DTR), others found higher variability between years (Gladders et al. (2001) for *Mycosphaerella gram.* and Gladders et al. (2007) for Yellow Rust). All three studies also showed how agronomic practices influenced diseases over a wide range of regionally and temporally differing conditions, similar to our results that cultivar resistance had the highest effect on fungicide use, followed by seeding time.

Herbicide use was influenced only marginally by the seasonal conditions; the cropping factors accounted for half of the overall variance. Milberg and Halgren (2004) describe similar findings in Sweden for the yield loss in cereals caused by weeds. There, differences between years were not significant, most of the variability was accounted for by the geographic region which in turn was highly associated with certain agronomic practices like preferentially grown crops or cultivars. Freier et al. (2008) attributed some of the variance in German wheat fields to the influence of preceding crops and tillage which was confirmed by our analysis.

The 'Region' term did not take on any variance in the herbicide models. Differences in weed management between farms may have masked the influence of regional differences in cropping conditions on herbicide use in our data, but possibly herbicide use differs more between single farms than between regions.

Growth regulators were the pesticide group with the smallest variation in absolute STI value. Although farmers seemed to use it relatively homogenously, one third of the variation was accounted for by cropping system factors. Again the cultivar had a large effect, as well as the preceding crop when it was wheat. The strongest relative differences in use occurred for insecticides which farmers seem to use with very different practices (as shown in Table 2). Freier et al. (2008) argued that there is a trend towards preventive insecticide spraying after years with severe pest calamities, which can have influenced our data as well. Overall, insecticides make up only a small proportion of pesticide use in wheat.

To sum up: agronomic measures have a strong impact on the need for pesticide use. Especially for herbicides and growth regulator use, a high proportion of variance was associated with these measures. Nevertheless, reduction potential for pesticide use through preventive crop management in terms of absolute STI is highest for fungicides and herbicides as these pesticide groups are the ones most intensively used.

Effect of Year

Our results confirmed the dependence of pesticide use on the seasonal conditions for crop and pest development. In preliminary analysis, we included data of temperature and precipitation as well as disease monitoring data in modelling activities. It can be a complex and timely process to choose the important weather components to be included. For example, for the fungicide use the development conditions of a whole bunch of diseases must be aggregated by a few parameters. These must sufficiently characterise autumnal development, freezing periods in winter, infection events and epidemic development conditions over the wheat stages of the growing period (Audsley et al., 2005, Wiik et al., 2009).

No monitoring data of farmers on diseases, weeds or insect pests was available for our analysis. Although extensive monitoring data for diseases and insects is available for the region from extension services and cultivar trials, these could not account in enough detail for regional or even local differences. Similarly, it was questionable how well weather data from nearest official weather stations could match local conditions, particularly for precipitation.

Following these considerations, the nominal variable of 'Year' was included in our analysis instead of more detailed parameters. It serves well enough to separate out the effects of yearly changing cropping conditions. In this configuration, the variable also stands for yearly effects on pesticide use caused by other sources, e.g. price changes, both for inputs and products, or changes in the market and political framework.

Effect of Farm

Our findings concerning the random effect of the variable 'Farm' underscore the results of our preliminary studies and many other studies which related pesticide use and crop management to farm and farmer characteristics. These included farmers' beliefs, perceptions and household characteristics, farm size and specialisation, as well as farm specific personal, machinery and financial resources (Musser et al., 1986, Llewellyn et al., 2004, White et al., 2005, Brodt et al., 2006, Galt, 2008, James Jr. et al., 2008).

The evidence on the effects of farm size and specialisation on intensity of cropping and pesticide use in the literature is mixed. Partly this is due to the farm sizes compared in the individual studies. No differences were found by Roschewitz et al. (2005) within a region with a history of rather smaller family farms in Lower Saxony (Central Germany), whereas Nieberg & Münchhausen (1996) report a trend towards higher fungicide and insecticide use when comparing Eastern Germany with its history of very large cooperative farms to typical farming regions of Western Germany.

Bürger et al. (2010) discuss possible effect mechanisms of farm specialisation and farm size in detail. One reason that can explain the fairly uniform treatments we found for farms D and H, is that due to time limitations a field specific treatment decision is hard on farms with large numbers of fields (Pluschkell, 1997).

The treatment decisions are influenced by the advice received, as much as by personal preferences and perceptions of the decision maker. We showed how some pesticide groups or treatments were used with particular emphasis on some farms. Günther (2010) and Bürger & Gerowitt (2009) analysed in detail how some farms prefer to treat fields mainly with the same pesticides whereas other farms use a large number of different pesticides and field specific tank mixtures. Penrose et al. (1996) found that some farmers used consistently more, some less pesticides than the average, even when they got advice from extension staff. The authors contribute this mainly to different perception of risk associated with disease and pests. They draw the conclusion in this participatory study on reducing pesticide use to target especially the heavy users to accomplish pesticide use reductions.

To sum up, farm and farmer characteristics must be considered as important determinants of pesticide use intensity. Blazy et al. (2009) describe a framework to account for farm diversity in prototyping of crop management systems that might be a good approach for pesticide use analysis as well. It should be analysed whether model farms used as regional example are really typical for the region and how much of the pesticide use may be influenced by farm specific factors. We expect that results of farm-type specific analysis would also be more helpful to farmers for adopting findings in their farm specific situation.

Effect of Region

The small number of farms per region in our study did not allow to differentiate well between farm effects and regional effects. However, the methodical approach we showed will be suited to supply such results when used on a sufficient number of farms. Some experts suggest a minimum of five study units on the lower level per higher level unit to allow proper conclusions on random effects separation. (Bolker, 2010)

A larger data base in the different regions may also correct another weakness in our analysis: the spatial pattern of the crop management factors. The nominal variable Soil-Climate-Region carries no information on the similarity or dissimilarity of conditions there. Yet, these differences affect the cropping patterns, substantially. For example, rotations on the more Northerly farms (regions 101 and 158) had a higher proportion of OSR, whereas wheat after maize crops were dominating on Southern farms (D, region 108).

Other authors documented similar patterns in their data. Gladders et al. (2001) describe how resistance ratings vary in wheat fields all over England. In the Northern regions, more susceptible cultivars were grown. A similar pattern regarding preferred cropping systems over the regions of Sweden was reported by Milberg & Hallgren (2004).

Taking these findings into consideration, we must presume that in our analysis most variance due to regional differences was masked by the differences between farms. Future studies adopting our approach will need to collect data from a higher number of farms in one region, in order to quantify the contribution of regional and farm effects to pesticide use variability.

6.7. Conclusion

One-dimensional analysis of the influence of a single crop management factor or even of a combination of two factors is not sufficient to explain pesticide use intensity (Günther, 2010). Crop management and pesticide treatment decisions are complex systems where one factor is interconnected with all other factors as well as the external production conditions. We therefore presented a Mixed Effects Modelling approach which allows to analyse a number of crop management factors in combination whilst controlling for random influences by external factors. Our results demonstrate the suitability of the method to extract important factors.

Furthermore we showed that the method is well suited to analyse on-farm data. The benefit of such analysis is to utilise the practical experience of farmers on the research question of how much pesticide is needed under varying crop management. No extensive generation of data or establishment of experimental designs is needed for this. Pesticide monitoring which has become obligatory throughout the European Union could therefore be a magnificent source of knowledge not just on use trends but also on reduction potentials through preventive crop management when data acquisition and analysis are well exploited.

Combined with thorough economical analysis and incorporating agroecological and socioeconomic farm characteristics, the findings of pesticide use analysis could be communicated to farmers to encourage higher adoption of cropping systems that are less dependent on pesticide use.

6.8. Acknowledgements

We would like to thank E. Lehmann and A. Ziesemer of the State Research Institute for Agriculture and Fishery Mecklenburg-Vorpommern for providing data. Also we acknowledge helpful comments on the statistics by F. de Mol.

6.9. References

- Anonymous, 2009a. Framework Directive on the Sustainable Use of Pesticides, 2009/128/EC, European Union and European Commission.
- Anonymous, 2009b. Regulation (EC) No 1185/2009 of the European Parliament and the Council concerning statistics on pesticides.
- Audsley, E., Milne, A., Paveley, N., 2005. A foliar disease model for use in wheat disease management decision support systems. *Annals of Applied Biology*. 147, 161 - 172.
- Baayen, R. H., 2008. languageR: Data sets and functions with 'Analyzing Linguistic Data: A practical introduction to statistics'.
- Bates, D., Maechler, M., Dai, B., 2008. lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and Eigen++. *Journal of Statistical Software*. 65, 1 - 68.
- Bolker, B., 2010. Should I treat a factor as fixed or random? r-sig-mixed-models Frequently Asked Questions. <http://glmm.wikidot.com/faq>.
- Blazy, J., Ozier-Lafontaine, H., Doré, T., Thomas, A., Wery, J., 2009. A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana-based systems in Guadeloupe. *Agricultural Systems*. 101, 30 - 41.
- Brodt, S., Klonsky, K., Tourte, L., 2006. Farmer goals and management styles: Implications for advancing biologically based agriculture. *Agricultural Systems*. 89, 90 - 105.
- Bürger, J., de Mol, F., Gerowitt, B., 2008. The 'necessary extent' of pesticide use - Thoughts about a key term in German pesticide policy. *Crop Protection*. 27, 343 - 351.
- Bürger, J., Gerowitt, B., 2009. Anwendungsmuster von Pflanzenschutzmitteln in Winterweizen und Winterraps (German with English abstract). *Gesunde Pflanzen*. 61, 11 - 17.
- Bürger, J., de Mol, F., Gerowitt, B., 2010. Influence of cropping system factors on pesticide use intensity – a multivariate analysis of on-farm data in North-East Germany. *European Journal of Agronomy* (submitted).
- Bundessortenamt, 2006. Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen (grosskörnig), Hackfrüchte (ausser Kartoffeln), Deutscher Landwirtschaftsverlag, Hannover.
- Freier, B., Pallutt, B., Jahn, M., Sellmann, J., Gutsche, V., Zornbach, W., 2008. Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz. Jahresbericht 2007 (German with English abstract). *Berichte aus dem Julius-Kühn-Institut* 144.
- Freier, B., Pallutt, B., Jahn, M., Sellmann, J., Gutsche, V., Zornbach, W., Moll, E., 2009. Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz. Jahresbericht 2008 (German with English abstract). *Berichte aus dem Julius-Kühn-Institut* 149.
- Galt, R. E., 2008. Toward an integrated understanding of pesticide use intensity in Costa Rican vegetable farming. *Human ecology*. 36, 655 - 678.
- Gladders, P., Langton, S. D., Barrie, I. A., Hardwick, N. V., Taylor, M. C., Paveley, N. D., 2007. The importance of weather and agronomic factors for the overwinter survival of yellow rust (*Puccinia striiformis*) and subsequent disease risk in commercial wheat crops in England. *Annals of Applied Biology*. 150, 371 - 382.

- Gladders, P., Paveley, N. D., Barrie, I. A., Hardwick, N. V., Hims, M. J., Langton, S., Taylor, M. C., 2001. Agronomic and meteorological factors affecting the severity of leaf blotch caused by *Mycosphaerella graminicola* in commercial wheat crops in England. *Annals of Applied Biology*. 138, 301 - 311.
- Gorddard, R. J., Pannell, D. J., Hertzler, G., 1996. Economic evaluation of strategies for management of herbicide resistance. *Agricultural Systems*. 51, 281 - 298.
- Günther, A., 2010. Analysen zur Intensität der Pflanzenschutzmittel-Anwendung und Aufklärung ihrer Einflussfaktoren in ausgewählten Ackerbaubetrieben. PhD thesis. Humboldt University Berlin.
- Herzog, F., Steiner, B., Bailey, D., Baudry, J., Billeter, R., Bukšcek, R., De Blust, G., De Cock, R., Dirksen, J., Dormann, C. F., De Filippi, R., Frossard, E., Liira, J., Schmidt, T., Stöckli, R., Thenail, C., Van Wingerden, W., Bugter, R., 2006. Assessing the intensity of temperate European agriculture at the landscape scale. *European Journal of Agronomy*. 24, 165 - 181.
- James Jr., H. S., Hendrickson, M. K., 2008. Perceived economic pressures and farmer ethics. *Agricultural Economics*. 38, 349 - 361.
- Jørgensen, L. N., 2009. Denmarks Action Plans for Pesticides – status and role of research. http://www.agrsci.org/ny_navigation/institutter/institut_for_plantebeskyttelse_og_skadedyr/medarbejdere/lnj/danish_pesticide_action_plans.
- Llewellyn, R. S., Lindner, R. K., Pannell, D. J., Powles, S. B., 2004. Grain grower perceptions and use of integrated weed management. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 44, 993 - 1001.
- Milberg, P., Hallgren, E., 2004. Yield loss due to weeds in cereals and its large-scale variability in Sweden. *Field Crops Research*. 86, 199 - 209.
- Musser, W. N., Wetzstein, M. E., Reece, S. Y., Varca, P. E., Edwards, D. M., Douce, G. K., 1986. Beliefs of farmers and adoption of integrated pest management. *Agricultural Economics Research*. 38, 34 - 44.
- Nieberg, H., Münchhausen, H. v., 1996. Zusammenhang zwischen Betriebsgröße und Umweltverträglichkeit der Agrarproduktion - empirische Ergebnisse aus den alten und neuen Bundesländern. (with English summary). *Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.* 32, 129 - 140.
- Oakley, E., Zhang, M., Miller, P. R., 2007. Mining pesticide use data to identify best management practices. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 22, 260 - 270.
- Penrose, L. J., Bower, C. C., Nicol, H. I., 1996. Variability in pesticide use as a factor in measuring and bringing about reduction in pesticide usage in apple orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 59, 97 - 105.
- Pluschkell, U., 1997. Zum Zeitbedarf für das Monitoring im integrierten Pflanzenschutz. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*. 49, 146 - 149.
- R Development Core Team, 2008. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Roschewitz, I., Thies, C., Tscharnkte, T., 2005. Are landscape complexity and farm specialisation related to land-use intensity of annual crop fields? *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 105, 87 - 99.
- Roßberg, D., 2002. NEPTUN 2000 - Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*, 98.

- Roßberg, D., Michel, V., Graf, R., Neukampf, R., 2007. Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. (German with English abstract). Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes. 59, 155-161.
- Sattler, C., Kächele, H., Verch, G., 2007. Assessing the intensity of pesticide use in agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment. 119, 299 - 304.
- Stern, V. M., Smith, R. F., Van den Bosch, R., Hagen, K. S., 1959. The Integrated Control Concept. Hilgardia. 29, 81 - 101.
- White, D. S., Labarta, R. A., Leguía, E. J., 2005. Technology adoption by resource-poor farmers: considering the implications of peak-season labor costs. Agricultural Systems. 85, 183 - 201.
- Wiik, L., 2009. Yield and disease control in winter wheat in southern Sweden during 1977-2005. Crop Protection. 28, 82 - 89.
- Wiik, L., Ewaldz, T., 2009. Impact of temperature and precipitation on yield and plant diseases of winter wheat in southern Sweden 1983–2007. Crop Protection. 28, 952 - 962.
- Ziesemer, A., Hofhansel, A., Lehmann, E., Michel, V., 2007. Frühsaat von Winterweizen. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern. <http://www.agrarnet-mv.de/index.php?/content/view/full/3970>
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., Smith, G. M., 2009. Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. Springer, New York.

7. Zusammenfassung und Diskussion

7.1. Zusammenfassung der Ergebnisse

Notwendiges Maß / Zum Verhältnis vorbeugender Pflanzenschutz – chemischer Pflanzenschutz

Die geringsten Behandlungsintensitäten mit chemischen Pflanzenschutzmitteln sind, wie im Konzept des Integrierten Pflanzenschutzes (IPS) niedergelegt, durch eine kombinierte Anwendung von Schadschwellenkonzepten, von optimierten, d.h. meistens reduzierten Dosierungen und von vorbeugenden Maßnahmen zu erreichen (Kap. 2). Die Anwendung reduzierter Aufwandmengen wird in der Praxis nicht durch häufigere Behandlungen ausgeglichen, damit wird bestätigt, dass die situationsbezogene Optimierung tatsächlich zu einer Reduzierung des Gesamtaufwands führt (in Kap. 3). Die Aufwandmengen werden unterschiedlich stark reduziert, die Reduktionen sind häufiger und höher in Winterweizen als in Winterraps und unterscheiden sich auch zwischen den Pflanzenschutzmittel-Gruppen (Kap. 3 und Kap. 4). Bei Nutzung vorbeugender Anbau-Maßnahmen werden weniger chemische Pflanzenschutzmittel eingesetzt (Kap. 5 und Kap. 6).

Die Veränderung einer einzelnen Maßnahme im Anbausystem erfordert oft eine weitreichende Umstellung im ganzen Anbaumanagement. IPS-Systeme sind insgesamt von einer geringeren Anbau-Intensität gekennzeichnet, gemessen an Rohstoff- und Energieeinsatz, meist aber auch an den Erträgen. Dass diese Anbausysteme trotzdem wirtschaftlich sind, konnte in den 1990ern Jahren durch verschiedene Systemversuche gezeigt werden. Bei wesentlich geringeren Pflanzenschutz-Aufwendungen wurden in den Varianten mit Integriertem Pflanzenschutz Gewinne erzielt, die zwischen 5% höher und 18% niedriger als in den konventionellen Varianten lagen (Kap. 2). Da der Integrierte Pflanzenschutz vor allem anfänglich mit höherem Aufwand für Monitoring, Informationsbeschaffung und Bekämpfungsentscheidungen verbunden ist, sind weiterhin Anreize notwendig, um Landwirte zu einer stärkeren Anwendung zu motivieren. Forschungs- aber auch Kommunikationsbedarf besteht z.B. zu den Auswirkungen bei der Anwendung einzelner IPS-Elemente (Nazarko et al., 2005; Steinmann, 2005; Macé et al., 2007).

Variabilität des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes

Die durchgeführten Auswertungen bestätigen die hohe Variabilität des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes auf allen betrachteten Ebenen. Insgesamt betrachtet schwankte die Anwendungsintensität am stärksten im Bereich der Fungizide und Insektizide, weniger variabel wurden Herbizide eingesetzt. Die Behandlungsintensität unterschied sich nicht nur zwischen den Erntejahren, zwischen Regionen und verschiedenen Betrieben, sondern selbst zwischen den einzelnen Schlägen eines Betriebes (Kap. 3-6). Diese Beobachtung deckt sich mit der zeitlichen und räumlichen Dynamik von Schaderregeraufreten und -entwicklung, aber auch mit dem Vorhandensein relativ kleinräumiger Unterschiede im Unkrautauftreten, das z.B. durch die Bodenbedingungen hervorgerufen sein kann. In Kapitel 4 konnte für Winterrapsschläge gezeigt werden, wie sich die regionale und saisonale Schaderregersituation in den Behandlungsintensitäten mit Insektiziden und teilweise mit Herbiziden widerspiegeln; weniger deutlich war das bei den Fungiziden.

Behandlungsmuster

In den vorliegenden Daten bestand nur ein geringer Zusammenhang zwischen Behandlungshäufigkeit und Behandlungsindex. Die Behandlungsintensität wurde stärker davon bestimmt, wie viele verschiedene Präparate zum Einsatz kamen, als davon, wie oft behandelt wurde (Kap. 3). Die Analyse verwendeter Tankmischungen (Kapitel 3) und Behandlungsstrategien (Kapitel 4 und 6) zeigte deutliche betriebsspezifische Besonderheiten: Tankmischungen werden in sehr unterschiedlichem Umfang angewendet. Im Winterweizen wurden bis zu 7 Präparate gemischt, auch wenn der Großteil

der Behandlungen mit 1 bis 4 Präparaten erfolgte.

Manche Betriebe verwenden sehr ähnliche Spritzfolgen für alle Schläge im gleichen Jahr, während andere eher schlagspezifisch behandeln. In einigen Betrieben ähneln sich die Aufwendungen in allen Jahren sehr, in anderen Betrieben weisen sie deutliche Unterschiede zwischen den Jahren auf. Ein schematisches Vorgehen könnte durch die Betriebsgröße bedingt sein, da eine höhere Anzahl von Schlägen weniger schlagspezifisches Monitoring und Entscheidungen zulässt. Außerdem zeigten sich betriebsspezifische Vorlieben für bestimmte Behandlungen, z.B. den Insektizid-Einsatz im Winterweizen.

Einfluss verschiedener Faktoren-Komplexe, insbesondere des Anbaumanagements

Die Betriebsspezifität des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes wurde auch durch die multivariaten Analysen bestätigt. Die Behandlungsmuster mit chemischen Pflanzenschutzmitteln im Winterweizen waren hauptsächlich durch den Betrieb und wesentlich weniger durch Anbaumanagement und Witterung beeinflusst. (Kapitel 5) Dabei traten hohe Überschneidungen im Einfluss der Komplexe Betriebseigenschaften und Witterung (zurückzuführen auf die regionale Lage der Betriebe) bzw. Betriebseigenschaften und Anbaumanagement auf. Die wichtigsten Anbau-Maßnahmen, die zu Unterschieden in den Behandlungsmustern führten, waren Saatzeitpunkt, Höhe der Stickstoff-Düngung, Sorten-Anfälligkeit gegenüber Mehltau, sowie Form der Bodenbearbeitung. Die Kombinationen der Anbau-Maßnahmen bildeten einen Gradienten der Anbauintensität ab, bei dem intensiver geführte Anbausysteme auch mit höherem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln verbunden waren. Anbausysteme mit IPS-typischen Elementen wurden eher auf weniger leistungsfähigen Standorten angewendet.

Für die Einsatzintensität der einzelnen Pflanzenschutzmittel-Gruppen staffelte sich die Bedeutung der Faktorenkomplexe wie folgt (Kapitel 6).

Behandlungsindex Fungizide: Betrieb/Region > Jahr (Witterung) > Anbaumanagement,

Behandlungsindex Herbizide: Anbaumanagement > Betrieb >> Jahr (Witterung),

Behandlungsindex Wachstumsregler: Anbaumanagement = Betrieb = Jahr (Witterung).

Die Anbaufaktoren mit dem größten Einfluss auf die Höhe des Behandlungsindex waren wiederum die Sorteneigenschaften, sowie die Vorfrucht in Zusammenhang mit Bodenbearbeitung und Saatzeit. Die Anbauintensität, die in dieser Analyse durch die Qualitätsstufe des Weizens abgebildet wurde, hatte demgegenüber geringeren Einfluss auf die Gruppen-BIs. Der Behandlungsindex unter verschiedenen Anbaufaktor-Kombinationen kann einen Anhalt für Reduktionspotenziale bieten. So unterschied sich zwischen einem Anbausystem ohne IPS-Elemente und einer Kombination vorbeugender Anbaumaßnahmen der Fungizid-BI um bis zu 1,2, der Herbizid-BI um 0,5-0,6 und der BI für Wachstumsregler um 0,5.

Ergebnisdiskussion

Die Ergebnisse der vorgestellten Analysen stehen weitgehend im Einklang mit vorhergehenden Untersuchungen zur Variabilität des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes im mehrjährigen Vergleich und zwischen Betrieben in unterschiedlichen Regionen, aber auch zur Variabilität des Auftretens verschiedener Schadorganismen. Viele Einzel-Zusammenhänge zwischen Anbaumaßnahmen und Schaderregern sind inzwischen sehr gut bekannt, selten untersucht wurden bisher resultierende Behandlungsintensitäten mit Pflanzenschutzmitteln.

Bestätigt wurden die Ergebnisse anderer Autoren

- zum starken Einfluss von Witterung und regionalen Bedingungen (auf Schaderregerauftreten bzw. Behandlungsnotwendigkeit), der außerdem oft den Effekt von Anbaumaßnahmen übersteigt (Bailey et al., 2001; Gladders et al., 2001; Müller, 2005; Koch et al., 2006; Wiik & Ewaldz, 2009),
- zur verringerten Intensität des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes oder des Schaderregerauftretens bei Verwendung vorbeugender Maßnahmen (Daamen et al., 1989; Nazarko et al., 2005; Kirkegaard et al., 2008; Chikowo et al., 2009),
- zur komplexen Wirkung und teilweisen Überlagerung vorbeugender Maßnahmen (Rolland et al., 2003; Savary et al., 2006; Gladders et al., 2007; Loyce et al., 2008),
- zur hohen Bedeutung betrieblicher sozio-ökonomischer Faktoren für die Pflanzenschutz-Intensität (Nieberg & Münchhausen, 1996; Hammond et al., 2006; Galt, 2008; Lamine et al., 2008),
- aber auch zu den großen betrieblichen Unterschieden in den Anwendungsmustern (Penrose et al., 1996; Macé et al., 2007; Oakley et al., 2007; Jørgensen et al., 2008).

Neu waren in der vorliegenden Arbeit einerseits die Separierung und Quantifizierung verschiedener Einfluss-Komplexe und die detaillierte multifaktorielle Analyse des Einflusses des Anbaumanagements auf die Behandlungsintensität. Andererseits erfolgte erstmals die Anwendung dieser Methoden auf die Praxis-Daten einer Reihe von Betrieben in Deutschland.

7.2. Methodendiskussion

Anwendung multivariater Methoden

In der Arbeit wurde der Einfluss des Anbaumanagements auf die chemische Pflanzenschutz-Intensität unter Beachtung weiterer wichtiger Einflussfaktoren mittels multivariater bzw. multifaktorieller Methoden analysiert. Ordination, Clusterung und multiple Regression sind statistische Verfahren, die sehr verbreitet in ökologischen, medizinischen oder geisteswissenschaftlichen Fragestellungen Anwendung finden. Im Gegensatz zur klassischen Versuchsanstellung bzw. experimentellen Ansätzen in Agrarwissenschaften oder Biologie sind die zu Grunde liegenden Daten durch ein oder mehrere der folgenden Merkmale gekennzeichnet:

- mehrere Abhängige und/ oder Unabhängige,
- eine Abhängige, die aus mehreren verbundenen Variablen besteht: z.B. eine Vegetationsaufnahme, bei der die Zusammensetzung der Vegetation durch mehrere Artanzahlen oder Deckungsgrade ausgedrückt wird,
- eine räumliche Verteilung, die nicht zufällig ist, sondern im Zusammenhang mit Umwelteigenschaften steht,
- eine nicht unabhängige Probenahme: mehrere Messwerte kommen z.B. vom gleichen Objekt (zu unterschiedlichen Zeitpunkten) oder mehrere Objekte stammen aus dem gleichen Habitat,
- eine nicht-balancierte Verteilung der (kategorialen) unabhängigen Variablen.

Monitoring-Daten, insbesondere die im Referenzbetriebsnetz der LFA M-V und im Vergleichsbetriebsnetz Pflanzenschutz vorliegenden Pflanzenschutzmittel-Daten, tragen einige der genannten Merkmale: die Betriebe bzw. die jeweils ausgewerteten Schläge sind nicht zufällig ausgewählt; Datensätze mehrerer Schläge stammen von einem Betrieb, aber z.T. in unterschiedlicher Anzahl; Verteilung der unabhängigen Variablen (z.B. bei Auswertungen zum Vorfrucht-Einfluss) ist numerisch nicht balanciert; räumliche Strukturen, z.B. im Anbauverhältnis der Kulturen in den Regionen, existieren, werden aber bisher nicht in Auswertungen einbezogen. Die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel wird außerdem neben dem Gesamt-Behandlungsindex auch durch die Teil-BIs der vier Pflanzenschutzmittel-Gruppen und ihr Verhältnis untereinander beschrieben. Die Daten der einzelnen Behandlungen enthalten darüber hinaus ebenfalls Informationen, die bei einer Aufsummierung verloren gehen, z.B. über die Variabilität der Behandlungshäufigkeit in verschiedenen

Jahren.

Die in der Arbeit angewendeten Methoden sind geeignet:

- Zusammenhänge explorativ darzustellen und Muster zu verdeutlichen (grafische Methoden, Clusterung),
- die wichtigsten von mehreren Abhängigen und Unabhängigen zu bestimmen (Dimensionsreduktion),
- Parameter für mehrere Variablen im Zusammenhang zu schätzen (multiple Regression),
- Abhängigkeits- und Zusammengehörigkeitsstrukturen darzustellen, Zufallseffekte bzw. Störgrößen zu separieren und deren Einfluss auf die Abhängigen bei der Parameterschätzung für die Unabhängigen auszuschließen (Gemischte Modelle – Mixed Effects Modelling).

Anwendungsbeispiele ähnlicher Methoden auf Monitoring-Daten oder Ergebnisse von Anbauversuchen in den Gebieten von Phytopathologie und Pflanzenschutz finden sich in der Literatur beispielsweise für die Analyse von Krankheitsprofilen im Weizen (Savary et al., 2006; Zhang et al., 2006), für die Analyse des Zusammenhangs von Schaderregerauftreten, Witterung und anbautechnischen Maßnahmen in Weizen und Wein (Gladders et al., 2001; Fussler et al., 2008) und für die multivariate Analyse räumlicher, biologischer, anbautechnischer und Umweltfaktoren des Auftretens von Sclerotinia an Sojabohnen (Rousseau et al., 2006).

Wie in den Kapiteln 5 und 6 gezeigt werden konnte, bieten die multivariaten Methoden also neue geeignete Ansätze zur Auswertung des immensen Datenmaterials und zur Ableitung wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns: einerseits werden durch die deskriptiven Schritte in Kombination mit den eher simplen Methoden wie Zählung der Behandlungen Informationen sichtbar gemacht, die bisher sonst nur die Experten (Mitarbeiter der Pflanzenschutzdienste, Berater etc.) für ihre jeweils relativ begrenzten regionalen Bereiche kennen, z.B. darüber wie und wie oft behandelt wird. Die detaillierte Analyse offenbart Typen von Pflanzenschutzmittel-Anwendern.

Darüber hinaus enthalten die Daten das Erfahrungswissen vieler Landwirte im Umgang mit Anbausituationen, die man in dieser Vielfalt kaum experimentell nachstellen kann. Selbst Anbausystemversuche wie INTEX in Göttingen (Steinmann, 2003) und FAM in München (Wechselberger et al., 1999) sind auf eine gewisse Anzahl von Varianten und ihre regionale Lage beschränkt, die relativ distinkte Stufen eines Gradienten abbilden. Der Nutzen bei der weiter führenden Analyse der Monitoring-Daten, bei deren Erhebung ohnehin Angaben zu den Anbaufaktoren erfragt werden, liegt also klar in der Erschließung dieses großen praktischen Erfahrungsschatzes, z.B. um Reduktionspotenziale oder Einflussmöglichkeiten durch vorbeugenden Pflanzenschutz abzuschätzen.

Durch entsprechende Ausgestaltung der Erhebungen könnte die Grundlage für ein Data mining geschaffen werden, wie es mit den Pflanzenschutzmittel-Anwendungsdaten im kalifornischen PUR-System durchgeführt wurde (Epstein & Bassein, 2003; Oakley et al., 2007) und als Grundlage für Projekte zur Pflanzenschutzmittel-Reduzierung diene.

Das Erhebungsverfahren könnte entsprechend möglicher Fragestellungen optimiert und ausgereizt werden. So wäre es sinnvoll, Indikationen einer Behandlung mitzuerheben, bzw. neben dem Datum einer Anwendung auch das Wachstumsstadium, in dem die Kultur sich befindet. Dadurch wäre z.B. die Abgrenzung von wachstumsregulatorischer und fungizider Behandlung im Winterraps einfacher. Auch die Berechnung des Behandlungsindex könnte genauer erfolgen, da die Anwendungsintensität auf Grund der fehlenden Indikations-Angaben im Moment eher unterschätzt wird.

Angaben zu Düngung und Bodenbearbeitung fehlten in den analysierten Datensätzen zum Teil, wären aber ebenfalls wichtig für die Auswertungen zum Anbausystem. In den vorgestellten Untersuchungen hat sich außerdem eine Einteilung der Saattermine in die Kategorien Früh-, Normal- und Spätsaat entsprechend regionaler Empfehlungen im Vergleich zur Einteilung nach Kalenderdekaden als aussagekräftiger erwiesen.

Schlussfolgerungen für den NEPTUN-Prozess und das Vergleichsbetriebsnetz Pflanzenschutz

Aus der exemplarischen Anwendung der multivariaten Ansätze in der vorliegenden Arbeit können weitere Erkenntnisse für die Entwicklung des Pflanzenschutzmittel-Monitorings im Vergleichsbetriebsnetz Pflanzenschutz und der Methoden zur Bestimmung des notwendigen Maßes gewonnen werden.

Sehr deutlich wurde der Einfluss der Betriebs-Komponente auf Behandlungsintensität und –strategien herausgearbeitet. Als Gründe wurden Betriebsgröße, Spezialisierung, verfügbare Ressourcen und Risikowahrnehmung diskutiert. Da man wegen der fehlenden gesetzlichen Grundlage auf die freiwillige Weitergabe der Pflanzenschutzmittel-Anwendungsdaten angewiesen ist, erfolgte die Auswahl der Betriebe für die vorgelegte Arbeit und im Vergleichsbetriebsnetz Pflanzenschutz nicht zufällig. Die vertrauensvolle Zusammenarbeit der Betriebe mit den Landespflanzenschutzdiensten und der LFA M-V basiert oft auf langjähriger persönlicher Bekanntschaft. Vermutlich zeichnet sich die Gruppe kooperationsbereiter Landwirte aber im Vergleich zur Allgemeinheit der Landwirte auch durch weitere Besonderheiten bezüglich ihrer Betriebsführung, der Aufgeschlossenheit gegenüber Innovationen oder vielleicht auch der Bewirtschaftungsintensität aus. Zum Beispiel liegen die Erträge der Betriebe im Referenzbetriebsnetz der LFA M-V deutlich über dem Durchschnitt in Mecklenburg-Vorpommern, und die Behandlungsindices lagen auf den Schlägen der acht Betriebe über denen in einer Befragung des Landespflanzenschutzdienstes M-V bei 35 weiteren Betrieben (Bürger et al., 2007).

Manche Statistiker monieren eine nicht zufällige Probenahme und bestreiten, dass die Anwendung schließender Statistik möglich ist. Es ließen sich höchstens Schlussfolgerungen zur Stichprobe selbst ziehen (Faraway, 2005; S. 48). Hieraus ergibt sich, dass die Repräsentanz der in Analysen einbezogenen Betriebe in ihrer Region, besonders bezüglich ihres Pflanzenschutzmittel-Einsatzes, verstärkt überprüft werden sollte, damit betriebsspezifische Besonderheiten nicht die Ableitung von allgemein gültigen Orientierungswerten aus Mittelwerten beeinträchtigen.

Die Erhöhung der Stichprobengröße wäre - zumindest theoretisch - eine Handlungsoption, um die Repräsentanz der Erhebungen zu erhöhen. Auf Grund begrenzter Ressourcen ist dies praktisch aber wohl eher unwahrscheinlich. Die Erhöhung wäre auch nötig, wenn im Rahmen entsprechender Fragestellungen die Überschneidung der Einflüsse von Betrieb und Region in einem Linearen gemischten Modell aufgelöst werden soll. In diesem Zusammenhang lautet die Empfehlung von Bolker et al. (2010), dass mindestens 5 bis 6 Einheiten auf der untergeordneten Ebene vorhanden sein müssen, also mindestens 5 Betriebe pro Untersuchungs-Region, um die einzelnen Effektgrößen voneinander trennen zu können.

Allerdings ergibt sich an dieser Stelle die Frage, inwieweit der Regions-Effekt für die Auswertung zum Einfluss von Anbaumaßnahmen auf Behandlungsintensitäten überhaupt von Interesse ist. In den Analysen des Kapitels 6 diente die Variable „BKR“ als einfach verfügbare kategoriale Stellvertretergröße für die regional differierenden Anbaubedingungen. Sie wurde eingesetzt, da sich bei den verfügbaren Daten zu Witterung und Schaderregerauftreten aus der Region Zweifel abzeichneten, ob diese geeignet sind, lokale Bedingungen ausreichend gut wiederzugeben oder

anzunähern. Die Interpolation von Witterungswerten aus Wetterstationen (besonders beim Niederschlag) oder die Verwendung regionaler Angaben zur Befallssituation mit Schadorganismen hat enge Grenzen für die Auswertung auf Schlagebene. Die Arbeit von Freiheit (2007) zeigte am Beispiel des regionalen Schaderregermonitorings des LPS M-V, dass wegen Uneinheitlichkeiten in den Probenahmen und wegen geringen Stichprobengrößen große Schwierigkeiten bestanden, aus den Erhebungen Aussagen für die Gesamtregion mit wissenschaftlich notwendiger Genauigkeit abzuleiten.

Für die multifaktoriellen Auswertungen werden Angaben zu äußeren Einflüssen auf die Pflanzenschutz-Intensität benötigt: Klima, Boden, Witterung, oder eben die resultierenden Größen: Ertrag(sfähigkeit) und Schaderregerauftreten. Sollten Wege gefunden werden, Daten zu diesen Variablen auf lokaler Ebene zu erlangen oder mitzuerheben, könnte die „Region“ als Stellvertreter-Variable ersetzt werden. Damit wäre das Problem der Stichprobengröße im Zusammenhang mit Regionseffekten gelöst. Mögliche Quellen für die schlagbezogenen bzw. kleinräumig gültigen Werte könnten eigene Angaben der Landwirte sein, Auswertungen regionaler Aufnahmen mit verbessertem Protokoll aus Schaderregermonitorings oder auch aus Sortenversuchen (z.B. Pienz & Michel, 2005). Weitere Optionen sind die Nutzung der Werte von Schaderreger-Prognose-Systemen wie z.B. SIMSEPT (Roßberg et al., 2003) oder verschiedener Modellansätze zur kleinräumigen Ableitung von Witterungswerten durch geostatistische Verfahren (Zeuner & Kleinhenz, 2007). Die Nutzbarmachung regionaler Daten verspricht bessere Ergebnisse der Analysen, geringeren Arbeitsaufwand bei der Erarbeitung regionaler Empfehlungen und eine höhere Akzeptanz unter Landwirten (Jørgensen et al., 2008).

7.3. Schlussfolgerungen für die Bewertung des notwendigen Maßes

Die Auswertung der Pflanzenschutz-Intensität und Ableitung eines Orientierungswertes ist eine retrospektive Betrachtung. Die Werte sind empirischer Natur und ihre Höhe deutlich abhängig von den jahresspezifischen Gegebenheiten. Dazu zählen neben der unterschiedlich verlaufenden epidemischen Entwicklung auch Veränderungen der Rahmenbedingungen, z.B. bezüglich politischer und gesetzlicher Vorgaben (Stichwort: Einführung von Grenzwerten für DON-Gehalte, Cross Compliance), verfügbarer Wirkstoffe und Präparate sowie Resistenzen (Stichwort: Septoria - Resistenz gegen Strobilurine), oder die Schwankungen ökonomischer Größen (Stichwort: Erzeugerpreise und Rohstoff-Preise, die in den Jahren 2008 und 2009 erheblich schwankten).

Die Definition des notwendigen Maßes enthält vier wichtige Aussagen, die das Spannungsfeld zwischen betrieblicher Ökonomie und gesellschaftlichen Ansprüchen skizzieren, in dem die Bewertung, was „notwendig“ ist, erfolgt:

- 1) Einsatz von Pflanzenschutzmitteln wird als notwendig angesehen, um Anbau von Kulturpflanzen zu sichern,
- 2) Einsatz und Anbau sollen Wirtschaftlichkeit erreichen,
- 3) Verbraucher- und Umweltschutz müssen berücksichtigt werden,
- 4) alle praktikablen nicht-chemischen Maßnahmen sollen eingesetzt werden.

Gesellschaftliche Ansprüche

Die Landwirtschaft soll ausreichend qualitativ hochwertige Lebensmittel zur Verfügung stellen, dabei umweltschonende Produktionsweisen verfolgen, und die Produkte sollen zu geringen Preisen erhältlich sein. Landwirte sind dabei den ökonomischen Rahmenbedingungen der globalisierten Marktwirtschaft unterworfen, um ihr Einkommen zu sichern.

Die Versorgungssicherheit mit landwirtschaftlichen Produkten in Deutschland bzw. für eine wachsende Weltbevölkerung wird von einigen Autoren ins Feld geführt, um die Notwendigkeit einer intensiven Landwirtschaft und eines hohen Pflanzenschutzmittel-Einsatzes zu begründen (Oerke & Dehne, 1997). Chemische Pflanzenschutzmittel werden außerdem als kostengünstige Maßnahme wahrgenommen (Wossink et al., 1997), die eine kostengünstigere Produktion ermöglicht. Massive Hinwendung zu Low-Input-Systemen und die erzielten Pflanzenschutzmittel-Einsparungen wären dementsprechend mit einer geringeren landwirtschaftlichen Gesamtproduktion verbunden (Bichel, zitiert in Jørgensen et al., 2006), die wiederum durch Marktmechanismen bei knapper werdendem Angebot zu steigenden Preisen für die Verbraucher führen könnte.

Verschiedene Autoren sind mit ihren Kosten-Nutzen-Analysen des chemischen Pflanzenschutzes (Pimentel et al., 1993; Waibel & Fleischer, 1998; Schmitz, 2002) zu verschiedenen Ergebnissen gekommen, wie hoch der ökonomische Nutzen des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes auf gesamtgesellschaftlicher Ebene ist, insbesondere wenn der erzielte Mehrertrag mit der Bekämpfung der negativen Auswirkungen (inkl. Zulassungsbürokratie, Überwachung, Kontrolle und Forschung) gegenübergestellt wird.

Als Unternehmer arbeiten Landwirte mit dem Ziel langfristiger Sicherung der Produktion, aber eben auch mit dem Ziel der Ertragsmaximierung, manche sogar mit diesem vorrangig (Brodt et al., 2006). Die Einführung eines integrierten Anbausystems ist mit großem Aufwand zur Informationsbeschaffung verbunden, viele IPS-Maßnahmen sind mit einer gewissen Einbuße an Ertrag verbunden oder verursachen Kosten, eine Anpassung anderer Teile des Anbaumanagements ist ggf. notwendig. Bei einem Übergang ist also kurz- bis mittelfristig mit einem Gewinn-Rückgang zu rechnen, und damit mit

einem Rückgang der Wirtschaftlichkeit im Unternehmen. Wirtschaftlicher ist aus Unternehmer-Sicht die Beibehaltung des intensiven Anbausystems (Macé et al., 2007; Ohmart, 2008). Verschiedene Autoren haben festgestellt, dass das Aufzeigen auch kurzfristiger ökonomischer Vorteile eine wesentliche Voraussetzung für die Einführung bestimmter IPS-Maßnahmen durch Landwirte wäre (Llewellyn et al., 2004; Gladders et al., 2006).

Da eine Maximierung des Nutzens für die Gesamtgesellschaft unter Berücksichtigung aller Kosten und Gewinne auch zukünftiger Generationen das Ziel nachhaltigen politischen Handelns sein muss, ist die Herausforderung der Landwirtschaftspolitik die Zusammenführung beider Seiten: verbesserter Umweltschutz bei gleicher Produktion (Tilman et al., 2002). Die Einführung des EU-Pflanzenschutzpakets, die Umsetzung der Rahmenrichtlinie und ein Wechsel zum Integrierten Pflanzenschutz, der die Gute Fachliche Praxis als Leitbild im deutschen Pflanzenschutzrecht ablöst, sind entsprechende Schritte der Politik, die auch gegen die entgegengesetzten Interessen einer starken Lobby durchgesetzt wurden. Dass die Unternehmen der Pflanzenschutz-Industrie oder Nahrungsmittel-Konzerne als Besitzer hochprofitabler Ländereien Einschränkungen ihrer Gewinne zu Gunsten einer umweltfreundlicheren Produktion freiwillig hinnähmen, ist nicht zu erwarten (Zadoks & Waibel, 2000; Swanton et al., 2008). Es bedarf einer entsprechenden Einstellungsänderung um zu akzeptieren, dass angepasste IPS-Anbausysteme wirtschaftlich sind und Landwirte damit bei minimalem Pflanzenschutzmittel-Einsatz wenn auch keinen maximalen Profit, so doch ein akzeptables Einkommen erlangen können (Trumble, 1998).

Viele Untersuchungen haben sich mit Hinderungsgründen für eine größere Anwendung von Integrierten Anbausystemen und möglichen Förder-Instrumenten beschäftigt: Steuern auf Pflanzenschutzmittel (Jørgensen et al., 2006), Grenzwerte, Förderprogramme (Brewer et al., 2004), verbesserte Beratung und Forschung (NABU, 2005; Jørgensen, 2009), Evaluation und Promotion von einzelnen IPS-Maßnahmen als Einstiegsmöglichkeit (Zadoks, 1985; Steinmann, 2005). Ein Rahmenwerk zur Ableitung der besten Instrumente unter Berücksichtigung des Verhältnisses zwischen gesellschaftlichem Nutzen und privatem Nutzen wurde von Pannell (2008) beschrieben.

Einige dieser Instrumente sind auch im Nationalen Aktionsplan Pflanzenschutz als geeignete Maßnahmen identifiziert worden (BMELV, 2008). Die Rolle von Forschung und Official-Beratung hierbei ist zu zeigen, was bei vorhandenem Veränderungswillen mit den Mitteln des Integrierten Pflanzenschutzes möglich ist.

Wirtschaftlichkeit von Pflanzenschutzmittel-Einsatz und IPS auf betrieblicher Ebene

Obwohl die Entscheidung zum Pflanzenschutzmittel-Einsatz in einem klar von ökonomischen Überlegungen geprägten Rahmen fällt, ist dem ökonomischen Aspekt in den bisherigen Auswertungen zu Pflanzenschutz-Intensität und notwendigem Maß im NEPTUN-Projekt und im Vergleichsbetriebsnetz Pflanzenschutz wenig Beachtung eingeräumt worden. Über die Einschätzung zur Einhaltung des notwendigen Maßes, die im Vergleichsbetriebsnetz Pflanzenschutz die regionalen Landespflanzenschutzdienste übernehmen, erfolgt ein erster Schritt in diese Richtung. Die Officialberatung stützt sich in ihren Behandlungs-Empfehlungen (z.B. LPS, 1995- 2004) auf ökonomische Schadensschwellen sowie auf Versuche zu Wirkung und Wirtschaftlichkeit des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes (incl. optimaler Einsatzzeitpunkte, Mischanwendungen und Dosierungen).

Die Anwendung fester Schadensschwellen wird von einigen Wissenschaftlern hinterfragt, da sie sich verändernde ökonomische Rahmenbedingungen zu wenig berücksichtigen (Basedow et al., 1994; Nail et al., 2007). Anstelle fester Schadschwellen wäre eigentlich eine Einschätzung notwendig, die Kosten

und möglichen Gewinn von Behandlungen in der jeweiligen Situation vergleicht (Gerowitt & Heitefuss, 1990). Mannigfaltige Entscheidungsunterstützungs-Systeme (decision support systems) für diese Abschätzung wurden inzwischen entwickelt, werden aber v.a. von Beratern und nur von einem kleinen Teil Landwirte genutzt (Jørgensen et al., 2008). Schadensschwellen und Ergebnisse aus Pflanzenschutzmittel-Anwendungsversuchen können eine Annäherung sein, die dem Praktiker eine einfacher handhabbare Entscheidungshilfe bietet.

Wenig oder keinen Eingang findet bisher bei den Empfehlungen zum Pflanzenschutzmittel-Einsatz und bei der Einschätzung zum notwendigen Maß im Vergleichsbetriebsnetz Pflanzenschutz die Ausschöpfung praktikabler vorbeugender Maßnahmen. Zwar finden sich in Beratungsunterlagen Hinweise, wie die Behandlungsnotwendigkeit verringert werden kann, besonders in Zusammenhang mit drohender Resistenzproblematik (z.B. LALLF (Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei), Pflanzenschutzdienst, 2005-2010, 2008), aber wenige Versuche oder Auswertungen beziehen tatsächlich systematisch das Anbaumanagement jenseits von Sorteneigenschaften mit ein.

Vielmehr wird die Wirtschaftlichkeit meist nur im Vergleich des Mehrertrags verschiedener Mittel, Dosierungen oder Spritzfolgen evaluiert, und Empfehlungen für diejenigen Versuchsglieder ausgesprochen, die den höchsten Mehrerlös gegenüber einer unbehandelten Kontrolle erzielen. In Zeiten hoher Erzeugerpreise lohnt sich hohe Input-Intensität, bei niedrigen Preisen kann eher ein Trend zur Einsparung und zu Low-Input-Systemen entstehen (Bichel, zitiert in Jørgensen et al., 2006). So kommt es auch, dass in Jahren hoher Erzeugerpreise in den Empfehlungen des Landespflanzenschutzdienstes M-V Spielraum für höhere Pflanzenschutz-Intensität konstatiert wird (LALLF, 2008), rückblickend die Wirtschaftlichkeit intensiven PSM-Einsatzes für viele Jahre mit durchschnittlichem Krankheitsgeschehen aber als mangelhaft eingeschätzt werden musste (LALLF, 2010, Wiik & Rosenqvist, 2010). Ergebnisse und Empfehlungen, wie die Wirtschaftlichkeit des Anbaus durch vorbeugende Anbau-Maßnahmen beeinflusst worden wäre, fehlen hier noch.

Darstellung des notwendigen Maßes unter Ausnutzung vorbeugender Maßnahmen

Wie vorangehend beschrieben, enthalten die gesetzlichen Grundlagen und der Nationale Aktionsplan Pflanzenschutz die politische Willensbekundung, vorbeugende agrarische Maßnahmen dem Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel weitestgehend vorzuziehen. Bei der fachlich begründeten Herleitung von Orientierungswerten für das notwendige Maß darf die Ausnutzung praktikabler Management-Maßnahmen darum nicht wie bislang ignoriert werden. Vielmehr sollten neben der empirischen Auswertung des durchschnittlichen tatsächlichen Pflanzenschutzmittel-Einsatzes auch Informationen darüber erlangt werden, welches Minimum durch entsprechendes Anbaumanagement erreicht werden kann.

Die ursprüngliche Konzeption des Vergleichsbetriebsnetzes Pflanzenschutz sah für dieses Ziel auch die Zusammenarbeit mit Demonstrationsbetrieben vor, „die einen Pflanzenschutz repräsentieren, bei dem durch vielfältige Maßnahmen, einschließlich der wissenschaftlichen Betreuung und Erprobung neuer Erkenntnisse des wissenschaftlich-technischen Fortschritts, die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln auf das notwendige Maß im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes begrenzt wird und die Reduktionspotenziale ausgeschöpft werden.“ (Freier et al., 2006). Diese Intention ist im Nationalen Aktionsplan Pflanzenschutz leider nicht mehr enthalten, dort werden Demonstrationsbetriebe nur noch im Zusammenhang mit der Erprobung neuartiger Verfahren erwähnt.

Wenn für die Ableitung von tatsächlich erreichbaren Untergrenzen oder Minimalwerten des notwendigen Maßes keine Vorbildbetriebe zur Verfügung stehen, können Analyse-Methoden, wie sie in der vorgelegten Arbeit vorgeschlagen werden, einen Beitrag leisten, um aus den im NEPTUN-Projekt und im Vergleichsbetriebsnetz Pflanzenschutz erlangten Daten die Reduktionspotenziale zu identifizieren, die sich durch ein verstärktes vorbeugendes Management ergeben. Mit der Veröffentlichung der Ergebnisse in den Jahresberichten des Vergleichsbetriebsnetzes Pflanzenschutz würden die bisherigen Auswertungen zum notwendigen Maß eine wertvolle Ergänzung im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes erhalten.

7.4. Literatur

- Bailey, K. L.; Gossen, B. D.; Lafond, G. P.; Watson, P. R. & Derksen, D. A. (2001). Effect of tillage and crop rotation on root and foliar diseases of wheat and pea in Saskatchewan from 1991 to 1998: Univariate and multivariate analyses. *Canadian Journal of Plant Science* 81 (4), 789-803.
- Basedow, T.; Poehling, H. & Lauenstein, G. (1994). Untersuchungen zur Anpassung der Bekämpfungsschwelle der Getreideblattläuse (Hom., Aphididae) (Saugschäden an Weizen im Sommer) an die veränderten ökonomischen Rahmenbedingungen im Ackerbau. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 101 (4), 337-349.
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2008). Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln.
- Bolker, B. a. o. c. (2010). Should I treat a factor as fixed or random? r-sig-mixed-models FAQ. <http://glmm.wikidot.com/faq>. Besucht am 8.4.2010.
- Brewer, M. J.; Hoard, R. J.; Landis, J. N. & Elworth, L. E. (2004). The case and opportunity for public-supported financial incentives to implement integrated pest management. *Journal of Economic Entomology* 97 (6), 1782-1789.
- Brodt, S.; Klonsky, K. & Tourte, L. (2006). Farmer goals and management styles: Implications for advancing biologically based agriculture. *Agricultural Systems* 89 (1), 90-105.
- Bürger, J.; Goltermann, S.; Heilmann, H. & Gerowitt, B. (2007) The Standardized Treatment Index as an Indicator for Pesticide Use Intensity on Farms in North-East Germany. In: Alford, D.; Feldmann, F. & Hasler, J. & v. T. A. (Hrsg.). *Best Practice in Disease, Pest and Weed Management. The State of the Art. BCPC Symposium Proceedings* 82, 16-17.
- Chikowo, R.; Faloya, V.; Petit, S. & Munier-Jolain, N. M. (2009). Integrated Weed Management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 132 (3-4), 237-242.
- Daamen, R. A.; Wijnands, F. G.; Der, V. & Vliet, G. (1989). Epidemics of diseases and pests of winter wheat at different levels of agrochemical input. A study on the possibilities for designing an integrated cropping system. *Journal of Phytopathology* 125 (4), 305-319.
- Epstein, L. & Bassein, S. (2003). Patterns of pesticide use in California and the implications for strategies for reduction of pesticides. *Annual Review of Phytopathology* 41, 351-376.
- Faraway, J. J. (2005). *Linear models with R* Texts in statistical science 63. Chapman und Hall/ CRC, Boca Raton.
- Freier, B.; Pallutt, B. & Günther, A. (2006). Untersuchungen zur Intensität der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in Ackerbaubetrieben - Grundlage für den Aufbau eines Netzes von Beispielbetrieben. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 58 (4), 98-103.
- Freiheit, J. (2007). *Räumliche Auswertungen von Daten der amtlichen Schaderregerüberwachung Mecklenburg-Vorpommerns der Jahre 2001 bis 2006 im Winterweizen und Winterraps*. Masterarbeit. Universität Rostock.
- Fussler, L.; Kobes, N.; Bertrand, F.; Maumy, M.; Grosman, J. & Savary, S. (2008). A characterization of grapevine trunk diseases in France from data generated by the National Grapevine Wood Diseases Survey. *Phytopathology* 98 (5), 571-579.
- Galt, R. E. (2008). Toward an integrated understanding of pesticide use intensity in Costa Rican vegetable farming. *Human Ecology* 36 (5), 655-678.

- Gerowitt, B. & Heitefuss, R. (1990). Weed economic thresholds in cereals in the Federal Republic of Germany. *Crop protection* 9 (5), 323-331.
- Gladders, P.; Evans, N.; Marcroft, S. & Pinochet, X. (2006). Dissemination of Information About Management Strategies and Changes in Farming Practices for the Exploitation of Resistance to *Leptosphaeria maculans* (Phoma Stem Canker) in Oilseed Rape Cultivars. *European Journal of Plant Pathology* 114 (1), 117-126.
- Gladders, P.; Langton, S. D.; Barrie, I. A.; Hardwick, N. V.; Taylor, M. C. & Paveley, N. D. (2007). The importance of weather and agronomic factors for the overwinter survival of yellow rust (*Puccinia striiformis*) and subsequent disease risk in commercial wheat crops in England. *Annals of Applied Biology* 150 (3), 371-382.
- Gladders, P.; Paveley, N. D.; Barrie, I. A.; Hardwick, N. V.; Hims, M. J.; Langton, S. & Taylor, M. C. (2001). Agronomic and meteorological factors affecting the severity of leaf blotch caused by *Mycosphaerella graminicola* in commercial wheat crops in England. *Annals of Applied Biology* 138 (3), 301-311.
- Hammond, C. M.; Luschei, E. C.; Boerboom, C. M. & Nowak, P. J. (2006). Adoption of Integrated Pest Management Tactics by Wisconsin Farmers. *Weed Technology* 20 (3), 756-767.
- Jørgensen, L. N. (2009). Denmark's Action Plans for Pesticides – status and role of research. http://www.agrsci.org/ny_navigation/institutter/institut_for_plantebeskyttelse_og_skadedyr/medarbejdere/lnj/danish_pesticide_action_plans. Besucht am 3. 3. 2010.
- Jørgensen, L. N.; Jensen, P. K. & Orum, J. E. (2006). Consequences to Danish Agriculture if partly or total phasing out pesticides. http://www.agrsci.dk/ny_navigation/institutter/institut_for_plantebeskyttelse_og_skadedyr/medarbejdere/lnj/consequences_to_danish_agriculture_if_partly_or_total_phasing_out. Besucht am 8.2.2006.
- Jørgensen, L. N.; Noe, E.; Nielsen, G. C.; Jensen, J. E.; Ørum, J. E. & Pinnschmidt, H. (2008). Problems with disseminating information on disease control in cereals to farmers. *European Journal of Plant Pathology* 121(3), 303-312.
- Kirkegaard, J.; Christen, O.; Krupinsky, J. & Layzell, D. (2008). Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crops Research* 107 (3), 185-195.
- Koch, H.; Pringas, C. & Maerlaender, B. (2006). Evaluation of environmental and management effects on *Fusarium* head blight infection and deoxynivalenol concentration in the grain of winter wheat. *European Journal of Agronomy* 24 (4), 357-366.
- LALLF (Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei), Pflanzenschutzdienst (2005-2010). Ergebnisse und Empfehlungen zum integrierten Pflanzenschutz im Ackerbau. Rostock.
- Lamine, C.; Paratte, R.; Buurma, J. & Burnett, M. (2008). Crop protection in changing agro-food systems. A sociological approach. In: ENDURE. Diversifying crop protection. ENDURE International Conference 2008. http://www.endure-network.eu/international_conference_2008/proceedings.
- Llewellyn, R. S.; Lindner, R. K.; Pannell, D. J. & Powles, S. B. (2004). Grain grower perceptions and use of integrated weed management. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44 (10), 993-1001.
- Loyce, C.; Meynard, J. M.; Bouchard, C.; Rolland, B.; Lonnet, P.; Bataillon, P.; Bernicot, M. H.; Bonnefoy, M.; Charrier, X.; Debote, B.; Demarquet, T.; Duperrier, B.; Fe'lix, I.; Heddadj, D.; Leblanc, O.; Leleu, M.; Mangin, P.; Me'ausoone, M. & Doussinault, G. (2008). Interaction between cultivar and crop management effects on winter wheat diseases, lodging, and yield. *Crop Protection* 27 (7), 1131-1142.

- LPS (Landespflanzenschutzamt Mecklenburg-Vorpommern) (1995- 2004). Ergebnisse und Empfehlungen zum Integrierten Pflanzenschutz. Rostock.
- Macé, K.; Morlon, P.; Munier-Jolain, N. & Quéré, L. (2007). Time scales as a factor in decision-making by French farmers on weed management in annual crops. *Agricultural Systems* 93 (1-3), 115-142.
- Müller, M. (2005). Fungizideinsatz im Weizenanbau in Abhängigkeit von Befallsauftreten und Ertragserwartung. *Gesunde Pflanzen* 57 (4), 90-100.
- NABU (Naturschutzbund Deutschland e.V.) (2005). Integrierter Pflanzenschutz, Situation und Handlungsempfehlungen im Hinblick auf die biologische Vielfalt. Berlin.
- Nail, E. L.; Young, D. L. & Schillinger, W. (2007). Diesel and glyphosate price changes benefit the economics of conservation tillage versus traditional tillage. *Soil and Tillage Research* 94, 321-327.
- Nazarko, O. M.; Van Acker, R. C. & Entz, M. H. (2005). Strategies and tactics for herbicide use reduction in field crops in Canada: A review. *Canadian Journal of Plant Science* 85 (2), 457-480.
- Nieberg, H. & Münchhausen, H. v. (1996). Zusammenhang zwischen Betriebsgröße und Umweltverträglichkeit der Agrarproduktion - empirische Ergebnisse aus den alten und neuen Bundesländern. *Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.* 32, 129-140.
- Oakley, E.; Zhang, M. & Miller, P. R. (2007). Mining pesticide use data to identify best management practices. *Renewable Agriculture and Food Systems* 22 (4), 260-270.
- Oerke, E. & Dehne, H. (1997). Global crop production and the efficacy of crop protection - Current situation and future trends. *European Journal of Plant Pathology* 103 (3), 203-215.
- Ohmart, C. (2008). IPM implementation at field level: "What are the impediments to grower adoption of IPM? Why do they exist and what can be done to get around them?". In: ENDURE. Diversifying crop protection. ENDURE International conference 2008. http://www.endure-network.eu/international_conference_2008/proceedings.
- Pannell, D. J. (2008). Public: private benefits framework version 3. INFFER Working Paper 0805. <http://cyllene.uwa.edu.au/~dpannell/dp0902.htm>. Besucht am 27.8.2009.
- Penrose, L. J.; Bower, C. C. & Nicol, H. I. (1996). Variability in pesticide use as a factor in measuring and bringing about reduction in pesticide usage in apple orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 59 (1), 97-105.
- Pienz, G. & Michel, V. (2005). Landessortenversuche Mecklenburg-Vorpommern Weizen 2004. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow.
- Pimentel, D.; McLaughlin, L.; Zepp, A.; Lakitan, B.; Kraus, T.; Kleinman, P.; Vancini, F.; Roach, W. J.; Graap, E.; Keeton, W. S. & Selig, G. (1993). Environmental and economic effects of reducing pesticide use in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 46 (1-4), 273-288.
- Rolland, B.; Bouchard, C. L. C.; Meynard, J.; Guyomard, H.; Lonnet, P. & Doussinault, G. (2003). Des itinéraires techniques à bas niveaux d'intrants pour des variétés rustiques de blé tendre: une alternative pour concilier économie et environnement. *Le courrier de l'environnement de l'INRA* 49, 47-62.
- Roßberg, D.; Kluge, E. & Jörg, E. (2003). SIMSEPT: ein neues Prognosemodell zum Auftreten von *Septoria tritici* und *Septoria nodorum*. *Gesunde Pflanzen* 55 (1), 8-12.
- Rousseau, G.; Rioux, S. & Dostaler, D. (2006). Multivariate effects of plant canopy, soil physico-chemistry and microbiology on *Sclerotinia* stem rot of soybean in relation to crop rotation and urban compost amendment. *Soil Biology & Biochemistry* 38 (12), 3325-3342.

- Savary, S.; Mille, B.; Rolland, B. & Lucas, P. (2006). Patterns and Management of Crop Multiple Pathosystems. *European Journal of Plant Pathology* 115 (1), 123-138.
- Schmitz, P. M. (2002). Nutzen-Kosten-Analyse Pflanzenschutz. Agrarökonomische Monographien und Sammelwerke. Vauk Verlag, Kiel.
- Steinmann, H. (2003). Integrierte Ackerbausysteme in Versuch und Praxis : Ergebnisse aus dem Göttinger INTEX-Projekt und seinen Demonstrationsflächen. Mecke-Verlag, Duderstadt.
- Steinmann, H. (2005). Gute fachliche Praxis und integrierter Ackerbau im langjährigen betriebswirtschaftlichen Vergleich : eine Betrachtung vor dem Hintergrund von Reduktionszielen im Pflanzenschutz. *Berichte über Landwirtschaft* 83 (3), 352-375.
- Swanton, C. J.; Mahoney, K. J.; Chandler, K. & Gulden, R. H. (2008). Integrated weed management: Knowledge-based weed management systems. *Weed Science* 56 (1), 168-172.
- Tilman, D.; Cassman, K. G.; Matson, P. A.; Naylor, R. & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418, 671 - 677.
- Trumble, J. T. (1998). IPM: Overcoming conflicts in adoption. *Integrated Pest Management Reviews* 3 (4), 195-207.
- Waibel, H. & Fleischer, G. (1998). Kosten und Nutzen des chemischen Pflanzenschutzes in der deutschen Landwirtschaft aus gesamtwirtschaftlicher Sicht. Agrarökonomische Monographien und Sammelwerke. Vauk Verlag, Kiel.
- Wechselberger, P.; Köbler, M. & Heißenhuber, A. (1999). Ökonomische und ökologische Beurteilung von Bewirtschaftungsmaßnahmen bzw. unterschiedlichen Bewirtschaftungssystemen. *Berichte über Landwirtschaft* 77 (2), 184-200.
- Wiik, L. & Ewaldz, T. (2009). Impact of temperature and precipitation on yield and plant diseases of winter wheat in southern Sweden 1983–2007. *Crop Protection* 28 (11), 952-962.
- Wiik, L. & Rosenqvist, H. (2010). The economics of fungicide use in winter wheat in southern Sweden. *Crop Protection* 29 (1), 11-19.
- Wossink, G. A. A.; De Buck, A. J.; Van Niejenhuis, J. H. & Haverkamp, H. C. M. (1997). Farmer perceptions of weed control techniques in sugarbeet. *Agricultural Systems* 55 (3), 409-423.
- Zadoks, J. (1985). On the conceptual basis of crop loss assessment: The threshold theory. *Annual Reviews of Phytopathology* 23, 455-473.
- Zadoks, J. C. & Waibel, H. (2000). From pesticides to genetically modified plants: History, economics and politics. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 48 (2), 125-149.
- Zeuner, T. & Kleinhenz, B. (2007). Use of geographic information systems in warning services for late blight. *EPPO Bulletin* 37 (2), 327-334.
- Zhang, X. Y.; Loyce, C.; Meynard, J. M. & Savary, S. (2006). Characterization of multiple disease systems and cultivar susceptibilities for the analysis of yield losses in winter wheat. *Crop protection* 25 (9), 1013-1023.

Danksagung

Ich danke

der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die finanzielle Unterstützung der Forschungsarbeiten durch die Gewährung eines Promotionsstipendiums,
den Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl Phytomedizin für die Tage, Wochen und Jahre freundschaftlicher, fröhlicher und fruchtbarer Arbeitsatmosphäre,

Dr. Stefan Goltermann und den Kolleginnen und Kollegen des Landespflanzenschutzdienstes Mecklenburg-Vorpommern, Andrea Ziesemer und Dr. Eckehard Lehmann von der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, sowie Dr. Astrid Günther und den Kolleginnen und Kollegen vom Julius-Kühn-Institut für die Erhebung und Bereitstellung von Daten.

Prof. Bärbel Gerowitt für das Vertrauen und die Ermutigung, das Promotionsthema zu bearbeiten, sowie die inhaltliche und formale Begleitung der vielen Schritte bis zum Ziel,

Dr. Friederike de Mol für die immerwährende Bereitschaft, Ergebnisse zu prüfen und zu diskutieren, weitere spannende Methoden ins Spiel zu bringen und ihre profunden Kenntnisse und reichen Gedanken zu teilen,

Dr. Gerald Jurasinski für den entscheidenden Hinweis auf die Varianzpartitionierung,

allen Lesern von Entwürfen und Manuskripten, die mit Anmerkungen, Rechtschreibkontrolle und ihrer englischen Muttersprache entscheidend zur Verbesserung und Fertigstellung der einzelnen Artikel und Kapitel beigetragen haben.

Thesen

Hintergrund

Der Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel hat seit der Mitte des 20. Jahrhunderts zu erheblichen Produktivitätssteigerungen in der konventionellen Landwirtschaft beigetragen, ist aber auch mit negativen Folgen für Menschen, Tiere und Pflanzen verbunden. In Deutschland wird die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel durch das Pflanzenschutzgesetz sowie nachgeordnete Rechtsverordnungen geregelt. Eine zentrale Forderung ist es, die Prinzipien des Integrierten Pflanzenschutzes zu beachten und die Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln unter vorrangiger Ausnutzung biologischer, pflanzenzüchterischer sowie anbau- und kulturtechnischer Maßnahmen auf das notwendige Maß zu beschränken.

Seit Ende der 1990-er Jahre wird in Deutschland der Ansatz eines flächendeckenden Anwendungsmonitorings verfolgt, um Erkenntnisse über den tatsächlichen Einsatz in der Landwirtschaft zu erlangen. Im Jahr 2000 wurden erstmals Daten zu Pflanzenschutzmittel-Anwendungen auf Praxis-Betrieben erhoben und später für den Bereich des Ackerbaus das Vergleichsbetriebsnetz Pflanzenschutz geschaffen. Die einzelbetrieblich erhobenen Daten dienen einerseits der Erfassung von Trends bezüglich verwendeter Mittelmengen, Wirkstoffe und verbundener Risiken. Andererseits wird über ein statistisch-empirisches Verfahren ein Werte-Korridor der Behandlungsintensität ermittelt, der als Annäherung für das notwendige Maß des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes in einer Region gelten kann. Als Maßzahl dient der Normierte Behandlungsindex.

Es bestand und besteht die Notwendigkeit, ergänzend zu den empirisch-statistischen Erhebungen eine eher fachlich begründete Herleitung des notwendigen Maßes zu entwickeln, und dabei auch eine Bewertung der Bekämpfungsnotwendigkeit zu integrieren. Neben standort- und jahresabhängigen Faktoren, die das Schaderregerauftreten bestimmen, können Landwirte durch vorbeugendes Anbaumanagement Einfluss auf die Bekämpfungsnotwendigkeit nehmen. In die Auswertungen im Vergleichsbetriebsnetz fließt seit 2008 eine schematisierte Einschätzung der Notwendigkeit der Behandlungen ein. Anschließend werden Analysen zum Einfluss einzelner Anbaumaßnahmen durchgeführt um Aufschluss über Einflussmöglichkeiten der Landwirte durch vorbeugende Maßnahmen zu erhalten und Reduktionspotenziale zu quantifizieren. Die bisherigen Arbeiten zeigten allerdings, dass ein- oder zweifaktorielle Analysen den Zusammenhang zwischen Anbaumanagement und Pflanzenschutzmittel-Einsatz in Praxisdaten nur ungenügend aufklären können.

Zielstellung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Methoden zur weiter gehenden Auswertung von Praxis-Daten, wie sie im Rahmen eines Pflanzenschutzmittel-Anwendungs-Monitorings erhoben werden. Ein Ziel der Untersuchungen war die prüfende Anwendung des Normierten Behandlungsindex als Maßzahl für die Einsatzintensität von Pflanzenschutzmitteln an umfangreichem Datenmaterial, das mehrere Jahre, mehrere Betriebe einer Region und eine möglichst hohe Zahl von Schlägen der einzelnen Betriebe umfasst.

Des Weiteren wurden methodische Ansätze zur schlag-genauen Untersuchung des Verhältnisses zwischen Anbaufaktoren und Pflanzenschutz-Intensität entwickelt und beispielhaft auf Daten aus dem Winterweizen- und Winterraps-Anbau landwirtschaftlicher Betriebe Nordost- und Ostdeutschlands angewendet. Die Daten stammten aus einer Erhebung des Landespflanzenschutzdienstes MV (einzelne Schläge von 26 Betrieben, Jahre 2000-2004), aus dem Referenzbetriebsnetz der Landesforschungsanstalt MV (komplette Schlagdatei von 7 Betrieben, Jahre 2001-2007) sowie aus Voruntersuchungen zum Vergleichsbetriebsnetz Pflanzenschutz vom Julius Kühn-Institut Kleinmachnow (komplette WW-Schläge von 4 Betrieben, Jahre 2002-2007).

Einen wesentlichen neuen Ansatz der Arbeit stellt die Anwendung multivariater Methoden und linearer gemischter Modelle dar, die der Herkunft, Erhebung und Struktur der Daten besser als klassische Mittelwert-Vergleiche und einfache Regressionsrechnungen gerecht werden. Außerdem wird so versucht, die Multidimensionalität der Behandlungsentscheidungen in die Auswertungen einzubeziehen.

Hauptaussagen der Arbeit

Die Behandlungsintensität mit Pflanzenschutzmitteln schwankt sehr stark zwischen verschiedenen Jahren und Regionen, aber ebenfalls stark zwischen Betrieben und sogar einzelnen Schlägen. Obwohl sich verschiedene Einflussfaktoren in ihrer Wirkung überschneiden, ist die schwankende Einsatzintensität von Pflanzenschutzmitteln wesentlich auf die unterschiedlichen Eigenschaften der Betriebe und ihre bevorzugten Behandlungsstrategien zurückzuführen. Die Behandlungsintensität wird aber auch vom Anbaumanagement bestimmt. Beim Einsatz vorbeugender Anbaumaßnahmen werden weniger Pflanzenschutzmittel verwendet.

Die Entscheidung eines Landwirts über den bevorzugten Einsatz vorbeugender Maßnahmen gegenüber chemischem Pflanzenschutz erfolgt unter starkem Einfluss der ökonomischen Rahmenbedingungen. Anbausysteme mit typischen Elementen des Integrierten Pflanzenschutzes wurden in den vorliegenden Daten eher auf weniger leistungsfähigen Standorten eingesetzt. Anbausystemversuche haben gezeigt, dass Integrierter Pflanzenschutz wirtschaftlich erfolgreich durchgeführt werden kann. Es ist die Aufgabe von Forschung und Officialberatung, verstärkt ökonomische Aspekte des vorbeugenden Pflanzenschutzes zu untersuchen und an Landwirte zu kommunizieren. Außerdem muss die Ableitung von Orientierungswerten für das notwendige Maß künftig stärker die Anwendung des vorbeugenden Pflanzenschutzes berücksichtigen.

Wissenschaftliche Wertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse stehen weitgehend im Einklang mit vorhergehenden Untersuchungen zur Variabilität des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes im mehrjährigen Vergleich und zwischen Betrieben in unterschiedlichen Regionen, zur Abhängigkeit des Schaderregerauftretens von jährlich und regional differierenden Anbaubedingungen sowie zum Einfluss einzelner Anbaumaßnahmen auf das Schaderregerauftreten. Selten untersucht wurden bisher resultierende Behandlungsintensitäten mit Pflanzenschutzmitteln.

Die multivariaten Methoden haben sich als geeignet erwiesen, um Praxis-Daten auszuwerten. Einerseits bieten sie die Möglichkeit, verschiedene sich überschneidende Einflussfaktoren gleichzeitig zu analysieren. Andererseits können in der Modellbildung Störgrößen und Abhängigkeitsstrukturen beachtet und vor der Parameterschätzung berücksichtigt werden, was notwendig ist, da die analysierten Daten nicht aus Versuchsanlagen stammen und die Anwendungsvoraussetzungen

einiger klassischer statistischer Verfahren nicht erfüllen.

Der Nutzen bei der weiter führenden Analyse der Monitoring-Daten liegt in der Erschließung des großen Erfahrungsschatzes praktischer Landwirte im Umgang mit vielfältigen Anbausituationen, um Einflussmöglichkeiten durch vorbeugenden Pflanzenschutz und Reduktionspotenziale abzuschätzen. Die Repräsentanz der in die Analysen einbezogenen Betriebe sollte allerdings intensiver überprüft werden.

Unbefriedigend war in den vorliegenden Daten die Vollständigkeit der Angaben zum Anbaumanagement. Durch entsprechende Ausgestaltung des Erhebungsverfahrens im Pflanzenschutzmittel-Anwendungs-Monitoring könnte das verfügbare Datenmaterial entsprechend möglicher Fragestellungen optimiert und ausgereizt werden. Auch regionale Monitorings bzw. elektronische Prognose-Systeme wären eine Quelle von Informationen, die zur Bewertung der Behandlungsnotwendigkeit und der notwendigen Intensität herangezogen werden können.

Überleitung der Ergebnisse in die wissenschaftliche Praxis

Abschließend ist festzustellen, dass die in der Arbeit vorgestellten Untersuchungsansätze einen Beitrag zur wissenschaftlich fachlich begründeten Herleitung der notwendigen Behandlungsintensität mit Pflanzenschutzmitteln in der Landwirtschaft leisten können. Sie ermöglichen die weitergehende Erschließung und effiziente Nutzung eines großen Datenpools, der durch das Pflanzenschutzmittel-Monitoring erhoben wird. Insbesondere können neben der Auswertung des durchschnittlichen tatsächlichen Pflanzenschutzmittel-Einsatzes auch Informationen darüber erlangt werden, welches Minimum durch entsprechendes Anbaumanagement erreicht werden kann. Mit der Veröffentlichung der Ergebnisse würden die bisherigen Auswertungen zum notwendigen Maß eine wertvolle Ergänzung im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes erhalten.

Selbständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die eingereichte Dissertation selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Werken wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Rostock, den 4.6.2010